

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

ESCUELA DE POSTGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN

INGENIERIA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR PARA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, COMO UNA
ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE
COMBUSTIBLES FÓSILES, EN LA REGIÓN PIURA”**

TESIS

**PARA OBTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN
INGENIERIA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

BLGO. ATARAMA MONTERO NÉSTOR HUMBERTO

PIURA - PERÚ

JUNIO 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

ESCUELA DE POSTGRADO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL Y
SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**“Evaluación del Potencial de Energía Solar para Generación de Energía
Eléctrica, como una alternativa para disminuir el uso de Combustibles
Fósiles, en la Región Piura”**

APROBADO EN SU CONTENIDO Y ESTILO POR:

DR. WILSON SANCARRANCO CÓRDOVA

PRESIDENTE DEL JURADO

DR. WILMER ARÉVALO NIMA

SECRETARIO DEL JURADO

M.Sc. JUAN CRUZ GUTIERREZ

VOCAL DEL JURADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

ESCUELA DE POSTGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN:

INGENIERIA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

TESIS:

“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES, EN LA REGIÓN PIURA”

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE LA PRESENTE TESIS ES ORIGINAL EN SU CONTENIDO Y FORMA

ATARAMA MONTERO NÉSTOR HUMBERTO

(Ejecutor)

DR. MANUEL ALEJANDRO MORE MORE

(Asesor)

PIURA - PERÚ

(JUNIO - 2019)



ESCUELA DE POSGRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN

PROGRAMA DE MAESTRIA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para la sustentación de la Tesis, para optar el Grado Académico de Maestro en **INGENIERÍA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**, presentada por:

ATARAMA MONTERO – NESTOR HUMBERTO

Con el asesoramiento del DR. MANUEL ALEJANDRO MORE MORE, denominada:

“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO UNA ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN LA REGIÓN PIURA”

Oídas las respuestas y absueltas las observaciones formuladas, se declara:

APROBADO				DESAPROBADO
Excelente	Sobresaliente	Bueno	Aceptable	
_____	_____	<input checked="" type="checkbox"/>	_____	_____

En consecuencia, previa aprobación del Art.º 83, del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, queda en condiciones de ser calificado **APTO** para obtener el Grado Académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL** de conformidad con lo estipulado en la ley.

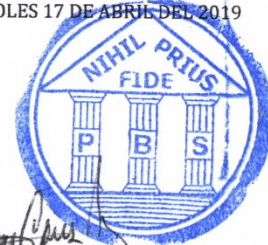


PIURA, MIÉRCOLES 17 DE ABRIL DEL 2019

DR. WILSON SANCARRANCO CORDOVA
PRESIDENTE

DR. WILMER AREVALO NIMA
SECRETARIO

DR. JUAN CRUZ GUTIEREZ
VOCAL



DEDICATORIA

A mis queridos padres, Noelia y Humberto y a mis hermanos Cinthya, Jimmy y Rony, por su amor infinito, sus consejos y apoyo incondicional para salir adelante.

A Kiara Ninoska por sus consejos y ánimos para seguir adelante y poder concluir con mi tesis.

A mi familia y amigos que siempre confían en mí, me apoyan y están conmigo siempre. A mis angelitos en el cielo Q.E.P.D, en especial a mi abuelita Elisa que siempre la tengo presente.

RESUMEN

La Región Piura es conocida por la ciudad del eterno calor o el eterno verano, esto debido a su posición geográfica y a que todo el año, salvo en pequeños periodos de tiempo, la radiación es constante. Por esta razón se ha realizado la presente investigación sobre la EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES, EN LA REGIÓN PIURA, luego de la cual se ha determinado que la generación de energía eléctrica mediante el uso de paneles fotovoltaicos constituye una alternativa viable en la Región Piura, siendo la energía solar un vector energético sostenible y podría ser una solución a los problemas energéticos que existen, a la vez que su uso evita la emisión de gases invernaderos que dañan la capa de ozono y generan el efecto invernadero.

Luego de realizar la presente investigación se determinó que el promedio de energía solar incidente en las provincias estudiadas es de 5 kWh/m^2 y que la provincia con mayor potencial para la instalación de paneles fotovoltaicos es Huamcabamba donde el promedio es 3.7 Kw/m^2 al año y las temperaturas no sobrepasan los 25°C .

Palabras clave: Energía solar, energía fotovoltaica, radiación solar, Región Piura, potencial solar

ABSTRACT

The Piura Region is known for the city of eternal heat or the eternal summer, this due to its geographical position and that all year, except in small periods of time, radiation is constant. For this reason, the present investigation on the EVALUATION OF THE POTENTIAL OF SOLAR ENERGY FOR GENERATION OF ELECTRIC ENERGY, HAS BEEN CARRIED OUT, AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE THE USE OF FOSSIL FUELS, IN THE PIURA REGION, after which it has been determined that the generation of Electricity through the use of photovoltaic panels is a viable alternative in the Piura Region, with solar energy being a sustainable energy vector and could be a solution to the energy problems that exist, while its use avoids the emission of greenhouse gases that They damage the ozone layer and generate the greenhouse effect.

After carrying out the present investigation, it was determined that the average incident solar energy in the regions that were study was 5 kWh / m² and that the province with the greatest potential for the installation of photovoltaic panels is Huamcabamba, where the average is 3.7 Kw / m² per year and temperatures are not exceed 25 ° C.

Keywords: Solar energy, photovoltaic energy, solar radiation, Region Piura, solar potential

INDICE DE CONTENIDO

Indice de Contenido

Carátula	1
Hoja de Firmas	2
Declaración de Originalidad	3
Resumen	4
Abstract	5
Indice de contenido	6
Indice de Gráficos	8
Indice de Figuras	9
Glosario de Términos	11
 Capítulo I	 16
1.1 Planteamiento del Problema:	16
1.1.1 Fundamentación y formulación del problema:	
1.2 Objetivos:	16
1.2.1 Objetivo General:	
1.2.2 Objetivos específicos:	
1.3 Justificación:	16
1.4 Alcance y limitaciones:	17
1.5 Metodología y Técnicas de Investigación:	18
1.5.1 Tipo de Investigación:	
 Capítulo II	 20
2.1 Antecedentes:	20
2.1.1 Uso de la energía solar a lo largo de la historia:	20
2.1.2 La Energía Solar en el Perú:	21
2.2 Marco Teórico - Científico:	23
2.2.1 Conceptos sobre energía	23
2.2.2 Unidades de energía	24
2.2.3 Tipos de Energía	25
2.2.4 Relación entre trabajo y energía	26
2.2.5 Eficiencia Energética	26
2.2.6 Potencia y energía:	26
2.3 Definición Conceptual de los Términos	29
2.3.1 Generación eléctrica usando energías no renovables:	29
2.3.2 Generación eléctrica usando energías renovables	32
2.3.3 Energía Solar	33
2.3.3.1 Radicación Solar	33
2.3.3.2 Energía Solar	34
2.3.3.3 Irradiancia Solar	35
2.3.3.4 Irradiación Solar	35

2.3.3.5 Causas de las variaciones solar en la Tierra	36
2.3.3.6 Variación de la energía solar en el Mundo	39
2.3.3.7 Distribución espacial y estacional de la energía solar en el Perú	40
2.3.3.8 Aplicaciones de la Energía Solar	44
2.3.3.9 Estudio de la energía solar	45
2.4 Energía Solar Fotovoltaica	47
2.4.1 Efecto fotovoltaico	47
2.4.2 Sistema Fotovoltaico (SF)	48
2.4.3 Componentes de un Sistema Fotovoltaico	49
2.4.3.1 La célula solar	49
2.4.3.2 El panel solar	51
2.4.3.3 Regulador	54
2.4.3.4 Inversor o convertidor de voltaje:	59
2.4.3.5 Acumuladores o baterías:	62
Capítulo III	65
3.1 Diseño de Investigación	65
3.1.1 Área de estudio	65
3.1.2 Lugares de monitoreo	65
3.1.3 Adquisición y procesamiento de datos	66
3.1.3.1 Adquisición de datos	66
3.1.3.2 Procesamiento de datos	67
Capítulo IV Resultados	72
Capítulo V Discusión	81
Capítulo VI Conclusiones	84
Capítulo VII Recomendaciones	85
Capítulo IX Bibliografía	86
Capítulo VIII Anexos	88

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		30
01:	Demanda de combustibles fósiles 2001 - 2017.	
Gráfico		32
02:	Consumo en (TWh) de energía en eléctrica a partir de fuentes	
Gráfico	Ventana para definir: latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar de la	69
03:	Estación NRG - Morropón.	
Gráfico		70
04:	Radiación diaria (01/01/2014 Bayóvar - Sechura)	
Gráfico		71
05:	Radiación mensual (Enero 2014 Negritos - Talara)	
Gráfico		72
06:	Valores promedio de radiación solar (W/m^2) en los lugares de muestreo	
Gráfico	Valores acumulados de radiación solar (W/m^2) en el año 2014 en los	72
07:	lugares de muestreo.	
Gráfico		73
08:	Valores máximos de radiación solar (W/m^2) en los lugares de muestreo.	
Gráfico		73
09:	Valores mínimos de radiación solar (W/m^2) en los lugares de muestreo.	
Gráfico		74
10:	Coefficiente de variación de los datos de radiación solar (W/m^2) en el	
Gráfico	año 2014 en los lugares de muestreo	74
11:	Desviación Estándar de los datos de radiación solar (W/m^2) en el año	
Gráfico	2014 en los lugares de muestreo	74
12:	Temperatura Promedio en ($^{\circ}C$) del día 01/01/2014	75
Gráfico		75
13:	Variación estacional de Radiación Solar (W/m^2) en los lugares de	
	muestreo.	

INDICE DE FIGURAS

Fig. 01: Fuerza electromotriz o voltaje	28
Fig. 02: Corriente continua y alterna	29
Fig. 03: Porcentajes de la radiación solar que llega a la tierra.	34
Fig. 04: Composición de la energía solar.	34
Fig. 05: Declinación solar	36
Fig. 06: Movimiento de la Tierra respecto al Sol.	38
Fig. 07: Esquema del efecto FV.	47
Fig. 08: Instalación solar fotovoltaica sin inversor, utilización a 12Vcc	48
Fig. 09: Instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 110Vca	48
Fig. 10: Componentes de una celda solar típica	49
Fig. 11: Proceso de fabricación de un módulo solar	52
Fig. 12: Panel solar o módulo fotovoltaico y una célula solar en detalle.	52
Fig. 13: Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.	55
Fig. 14: Regulador tipo shunt FODElectronic	56
Fig. 15: Regulador serie StecaSolarixPRS	57
Fig. 16: MF Autoregulado y MF Regulado	59
Fig. 17: Convertidor continua-continua	60
Fig. 18: Convertidor de tensión de 12 V continua a 220 V alterna	61
Fig. 19: Tipos de baterías usadas en instalaciones fotovoltaicas	64
Fig. 20: Estación Meteorológica NRG Systems en la Universidad de Piura (UDEP).	66
Fig. 21: Piranómetro: Sensor usado para medir radiación solar.	67
Fig. 22: Data Logger (Estaciones NRG Systems)	68
Fig. 23: Flujograma de trasmisión de datos desde el piranómetro hasta la llegada a un correo electrónico.	70
Fig. 24: Promedio de Irradiación solar en la Región Piura. (Wh/m ²) Cortesía: Rütger Rollenbeck	76
Fig. 25: Radiación global Mensual (enero - junio) de la Region Piura (en Wh/m ²)	78
Fig 26: Radiación global Mensual (julio - diciembre) de la Region Piura (in Wh/m ²).	79

Fig. 27: Kit solar Peru 300Wh/dia Casa Campo	87
Fig. 28: Kit Solar 1500w Uso Diario	88
Fig. 29: Kit solar 6 000W ECO Uso Diario	89
Fig. 30: Amortización de un sistema fotovoltaico de autoconsumo.	90
Fig. 31: Amortización anual durante 25 años de un sistema fotovoltaico de autoconsumo.	90
Fig. 32: Kit Solar de 12 v y 55 w vendido por Aliexpress. Precio: 729 Soles	91
Fig. 33: Kit Solar de 12 v y 1000 w vendido por Aliexpress. Precio: 6689 Soles	91

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ABSORCIÓN DE LA LUZ: Este valor señala cuánta radiación luminosa es capaz de absorber y utilizar una célula solar. Es un índice importante para la determinación del grado de eficiencia, mientras mayor sea la absorción, mayor será la eficiencia energética.

ACUMULADOR: En los sistemas fotovoltaicos sin red de suministro, la energía generada se puede almacenar en forma de corriente continua en acumuladores. Esta energía puede ser utilizada cuando no hay luz solar, es decir, de noche o con mal tiempo.

ÁNGULO AZIMUTAL: Este ángulo indica cuánto se desvía la orientación de la instalación respecto del Sur (ángulo azimutal 0%). Hacia el Este, el ángulo es negativo, hacia el Oeste es positivo, por lo tanto, los ángulos son: Este -90°, Sureste -45°, Suroeste 45°, Oeste 90°.

ÁNGULO DE INCLINACIÓN: Al ángulo entre los módulos solares y el eje horizontal se le conoce como 'ángulo de inclinación'. La lluvia limpia los módulos solares desde un ángulo de inclinación de 15°, sin embargo, 30° ha probado ser el mejor ángulo.

AUTOCONSUMO: Si un sistema fotovoltaico no inyecta a la red pública toda la energía que genera, sino que conserva una parte para su uso local, esa proporción se conoce como 'autoconsumo'. Esa parte de la producción también se puede financiar a través de fondos públicos. Un medidor bidireccional mide cuánta energía se inyecta a la red y cuánto se saca y consume.*(Esto se aplica a Alemania. Otros países pueden tener otras disposiciones)

BALANCE NETO: El balance neto indica la cantidad de tiempo que requiere un módulo fotovoltaico para generar la energía que se utilizó para su producción. Normalmente este tiempo es de tres a siete años. En instalaciones con células solares amorfas, esto puede tomar incluso solo entre 17 a 41 meses. Las centrales térmicas de carbón y las alimentadas con otros combustibles fósiles no tienen un balance neto porque requieren constantemente de nuevas fuentes de energía.

CÉLULAS SOLARES AMORFAS: Es una variante de las células solares de película delgada. Son fabricadas aplicando una delgada capa de silicio no cristalino sobre un material de base como el vidrio o el metal mediante deposición de vapor.

CÉLULAS SOLARES CRISTALINAS: Son células solares hechas de silicio cristalino de alta pureza. Éste se corta en delgadas láminas (obleas) durante la producción. Dependiendo de la estructura del cristal, se pueden fabricar como células solares monocristalinas o policristalinas. Las células solares cristalinas tienen una mayor eficacia energética que las células solares de película delgada, pero también son más costosas.

CÉLULAS SOLARES DE PELÍCULA DELGADA: También se conocen como células solares amorfas. Estas células café oscuro, casi negras, tienen una capa de silicio no cristalino que se aplica sobre un material de base como el vidrio o el acero inoxidable mediante deposición de vapor, lo que las hace cien veces más delgadas que las células solares cristalinas. El factor de eficiencia de las células solares de película delgada es menor y, como resultado de esto, requieren de un área con mayor superficie que los módulos cristalinos. No obstante, se pueden utilizar de forma más flexible y en un mayor número de situaciones, y tienen algunas ventajas en relación con la luz difusa o con altas temperaturas de funcionamiento. Con este tipo de células no se necesita la compleja tarea de cortar los bloques de silicio.

CÉLULAS SOLARES MONOCRISTALINAS: Estas células están hechas de un solo cristal y son de color de negro a azulado. Poseen la mayor eficacia energética y también la mayor esperanza de vida útil con más 20 años. Se utilizan principalmente en áreas donde el espacio es limitado.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA: Es un índice del alcance de pérdida de energía por panel solar. Un coeficiente de -0,4% indica que por cada grado sobre 25°C, se reduce la producción máxima de energía del panel en un 0,4%.

DIODO DE DERIVACIÓN: Si se sombrea o daña un módulo o una serie de módulos, este componente semiconductor permite que la energía circule evitando este punto, posibilitando de este modo el funcionamiento del resto de la instalación.

EPC: Esta abreviación de Ingeniería, Adquisición y Construcción se utiliza internacionalmente para describir el proceso completo de ejecución de proyectos de construcción llevados a cabo por un contratista general como Sybac Solar. El contratista entrega un proyecto llave en mano en una fecha determinada, normalmente a un precio fijo.

EVA: Esta abreviación corresponde a etilvinilacetato. Durante la producción, las células solares son encapsuladas herméticamente con este material plástico para protegerlas de forma permanente de la humedad y corrosión. En primer lugar, se derrite el etilvinilacetato y luego se revisten las células con él. Este proceso también se conoce como laminado.

FACTOR DE EFICIENCIA: El factor de eficiencia describe la proporción de la radiación solar que es convertido en energía, por ejemplo, la eficiencia de una célula o instalación solar. Silicio monocristalino (14 a 17 %), Silicio policristalino (13 a 15 %), Silicio amorfo (5 a 7 %), CIS / CdTe (7 a 11 %)

HORAS DE SOL POR DÍA — Es el equivalente de número de horas por día equivalente a la irradiación solar de 1,000 vatios/por metro cuadrado. Por ejemplo en Puerto Rico, se reciben alrededor de 5.53 Kilovatios por metro cuadrado por día o 5.53 horas sol. Este número se utiliza para calcular la capacidad necesaria del sistema solar de acuerdo a su necesidad de energía.

IRRADIACIÓN — La luz directa, difusa y reflejada que recibe una superficie, usualmente expresada en kilovatios por metro cuadrado, la irradiación multiplicada por tiempo equivale a insolación.

INVERSOR - Es un equipo electrónico que convierte la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) para un sistema conectado a la red eléctrica o para un sistema independiente de energía.

INYECCIÓN A RED: Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red inyectan la energía generada a la red pública de energía, por la que el operador de red paga una tarifa de suministro estipulada. Para inyectar la energía, se convierte la corriente continua en el sistema en corriente alterna, a través de un convertidor. Con este tipo de sistemas no se necesita un acumulador.

KILOVATIO -- Es una medida de potencia eléctrica equivalente a 1000 Vatios o el consumo de energía de mil joules por segundo.

KILOVATIOS HORA - Es una medida de energía que equivale a 1,000 vatios consumidos en un periodo de una hora. Normalmente las utilidades nos cobran en base a kilovatios hora consumidos en un mes.

MÓDULO SOLAR: Las células solares no se instalan individualmente, sino que se conectan para formar módulos, utilizando pistas conductoras en la parte delantera y trasera. Se colocan entre los paneles de vidrio o entre las películas de plástico. Los módulos se unen por medio de marcos, los que también se utilizan para asegurarlos a la subestructura del montaje. Las células solares de un módulo normalmente se conectan en series. Esto permite que el voltaje de una célula individual se acumule y que se puedan utilizar cables más delgados que en la conexión en paralelo. Para asegurar que las células individuales puedan sobrellevar averías o periodos de sombra a pesar de las conexiones en serie, se utilizan diodos de derivación.

Medición Neta -- La práctica de exportar el exceso de energía solar durante el día a la red de distribución eléctrica, lo cual causa el metro de energía que mida en reverso para usarse durante la noche y/o simplemente cree un crédito financiero en la factura eléctrica del hogar o negocio.

MWP: La producción de las centrales de energía solar se mide en megavatios. La pequeña 'p' al final corresponde a 'pico'. Este valor especifica la potencia nominal alcanzada por los módulos solares y sistemas fotovoltaicos bajo condiciones de prueba estándares (STC), con una tasa de radiación de 1.000 W/m^2 y una temperatura del módulo de 25°C .

OBLEA: Las delgadas obleas de silicio con un espesor de 200 a 300 μm son una parte esencial de las células solares. Éstas se cortan a partir de grandes bloques o lingotes de silicio.

PARIDAD DE RED: Este punto se alcanza cuando los gastos de generación de energía solar bajan hasta llegar al mismo precio de venta de los proveedores de electricidad. En Chile esto ya se ha producido con varias tarifas. De esta forma se hace más económico generar electricidad para el consumo propio que comprarla de la red.

PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA (MPP): La electricidad que produce una célula solar depende de la radiación solar, voltaje y temperatura. El MPP describe el punto en el que la célula solar alcanza su máximo rendimiento. El MPP no tiene un valor constante, sino que es determinado continuamente por el inversor.

RADIACIÓN SOLAR: No solo en los países del hemisferio sur es el sol lo suficientemente intenso para ser utilizado en la producción de energía, sino que también lo es en Alemania. Durante el verano puede haber hasta 1.000 vatios de irradiancia por metro cuadrado. Para utilizar la energía del sol en Alemania, las centrales solares deben orientarse hacia el Sur con un ángulo de inclinación de 30° .

RADIACIÓN SOLAR DIFUSA: Los rayos del sol llegan a la superficie de la tierra también en días nublados o cuando hay polvo u otras partículas en la atmósfera. Esta radiación solar difusa puede ser utilizada con tecnología solar fotovoltaica, aunque se genera considerablemente menos energía que con radiación solar directa.

RADIACIÓN SOLAR GLOBAL: La radiación solar global indica la radiación solar total que llega a la superficie de la tierra. Está compuesta de la radiación solar directa más la radiación solar difusa dispersas en la atmósfera a través de las partículas de agua y polvo.

REGULADOR DE CARGA: En los sistemas aislados, independientes de la red de energía, este componente monitorea y controla el flujo de energía entre la central solar, los consumidores y el acumulador, para evitar una sobrecarga o una descarga excesiva.

SEGUIMIENTO: Si las ganancias que se pretenden son especialmente altas, se pueden instalar los módulos solares sobre estructuras móviles que sigan la trayectoria del sol de forma automática y precisa utilizando motores eléctricos. Existen sistemas de seguimiento monoaxial y biaxial. Comparadas con un sistema fijo, se puede generar hasta un 30% más de ingresos al año.

SILICIO: Más del 80% de las células solares producidas en el mundo están hechas de silicio. Al ser un semimetal, este elemento químico (abr. Si) pertenece al grupo de los semiconductores, y es el segundo elemento más común después del oxígeno, responsable de más del 25% del peso de la corteza terrestre. Se encuentra principalmente en forma de minerales silíceos y de arena silícea, la que consiste en dióxido de silicio. El silicio se extrae de esta arena a través de un proceso químico.

SISTEMA DE FACHADA: Es un sistema fotovoltaico que va instalado en la fachada o integrado en las paredes de un edificio. Un módulo solar instalado verticalmente con orientación Sur rinde alrededor de un 30% menos de energía que uno sobre una construcción de cubierta inclinada con la misma orientación.

SISTEMA DE RESPALDO: Este sistema de respaldo de energía se enciende a los pocos milisegundos de haberse producido un fallo de alimentación, garantizando el suministro autónomo con la energía almacenada en el acumulador.

SISTEMAS AISLADOS: Son los sistemas que no están conectados a la red. A diferencia de las instalaciones conectadas a la red, estos no inyectan la energía a la red, sino que solo la producen para el autoconsumo del propietario, especialmente en las áreas remotas.

SOLAR CELLS: Las células solares que están disponibles en el mercado actualmente son células semiconductoras y trabajan todas de acuerdo al mismo principio. Se ha estandarizado su forma cuadrada con una longitud de 125 mm, 156 mm, o incluso 210 mm, ésta última es la medida utilizada más frecuentemente. Sin embargo, existen diferencias en la estructura y en el material utilizado. La tabla muestra un resumen de los tipos de células solares más importantes.

Esesor del Material	Película gruesa / película delgada
Tipo de Material	Si, CdTe, GaAs o CuInSe
Estructura del Cristal	Monocristalina / policristalina / Amorfa

También existen diferentes tipos de construcción, por ejemplo, en relación con la estructura de la superficie, integración de las superficies de contacto (por ejemplo, delgadas o transparentes) o disposición de los diferentes materiales que se necesitan para la explotación del espectro solar en la mayor medida posible. Se utilizan materiales semiconductores más costosos que el silicio para las instalaciones en superficie de los llamados concentradores solares. Los investigadores trabajan en otros diseños y materiales. Las células solares de polímeros, orgánicas o incluso sensibilizadas por colorantes pueden volverse una realidad en un futuro cercano.

SOMBREADO: El sombreado temporal debido a suciedad o nieve, o las sombras permanentes en determinados lugares causadas por edificios, árboles, tendido eléctrico u otros módulos del sistema, afectan significativamente la producción de un sistema

fotovoltaico. Debido a la conexión en serie, un módulo sombreado influye en la cadena completa y en una proporción considerable de la producción total. Se debe evitar todo tipo de sombras. Las áreas sombreadas parcialmente no deben ser pobladas de módulos en absoluto. El análisis de sombreado utilizando un indicador de trayectoria solar u otro dispositivo apropiado es parte crucial del proceso de planificación.

STRING: Un 'string' es una cadena de módulos solares dispuestos uno junto a otro.

SUPERFICIES DE CONVERSIÓN: Son las áreas de impacto ecológico que se convierten en parques solares, que antes fueron utilizadas como áreas comerciales, residenciales, militares o de transporte, tales como antiguos aeropuertos, barracas, vertederos o zonas industriales.

TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: Es la conversión directa de energía radiante en energía eléctrica. Si se la expone a la luz solar, se liberan portadores de carga positiva y negativa a través del llamado 'efecto fotoeléctrico', produciendo, de esta forma, corriente continua. Dependiendo de la orientación, luz solar y tipo de módulo, se puede generar alrededor de 1 kWp de energía en un área de 102 m, lo que corresponde aproximadamente a 800 hasta 1.000 kWh de energía al año. Este término está compuesto del término griego de luz ('phos') más el nombre de Alessandro Volta, pionero de la electricidad, quien le puso su nombre a la unidad eléctrica 'voltio'. La tecnología fotovoltaica fue utilizada por primera vez en 1958 para mantener el suministro de energía de los satélites.

VENTILACIÓN POSTERIOR: El rendimiento de un sistema fotovoltaico disminuye si se sobrecalienta demasiado. Por lo tanto, durante la fase de planificación e instalación, se debe considerar una ventilación posterior suficiente con fines de enfriamiento.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del Problema:

1.1.1 Fundamentación y formulación del problema:

Uno de los problemas que existe en la región Piura es que no se conoce con precisión cuales son los niveles de energía solar tanto en costa como en sierra para poder aplicar tecnologías limpias como lo son, los sistemas fotovoltaicos, estos sistemas pueden ser usados para diferentes fines, como lo son: agrícolas, pecuarios, agroindustriales e industriales. La aplicación de este tipo de tecnología permitiría reducir el uso de combustibles fósiles y en consecuencia los niveles de emisión de gases invernadero.

Entonces es imprescindible conocer ¿Cuál es el potencial de generación eléctrica usando energía solar, como una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, en la Región Piura y que variaciones espacio-temporales presenta?

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General:

Determinar el potencial del uso de la energía solar, como una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, en la Región Piura y su variación espacio-temporal.

Objetivos específicos:

- (a) Determinar la variación estacional de la Radiación Solar en la Región Piura.
- (b) Determinar la variación espacial de la Radiación Solar en la Región Piura.
- (c) Determinar qué provincia de la Región Piura posee las mejores condiciones para generar energía eléctrica a partir de radiación solar.
- (d) Determinar cómo se aplicaría la energía fotovoltaica en la Región Piura, como una forma de reducir las emisiones de CO₂

1.3 Justificación:

En el Perú los recursos energéticos renovables, tales como la energía solar, eólica, biomasa, hidráulica y otros, poseen un importante potencial. No obstante, sólo el 4.7% del potencial hidráulico, 0.65% del potencial eólico, 6.1% del potencial de biomasa y menos del 1% del potencial solar están siendo explotados actualmente. OSINERGMIN, 2009.

Teniendo en cuenta esta realidad, la presente investigación busca contribuir en conocer el real potencial de generación eléctrica para uso domiciliario en la Región Piura. El uso de energías limpias en la Región Piura traería consigo una serie de beneficios, tales como: elevar la calidad de vida de las personas sin comprometer el ambiente, se crearía 5 veces más puestos de trabajo que la instalación de las convencionales, apoyo a las pequeñas y medianas industrias locales, contribuiría decisivamente al equilibrio interterritorial ya que se podría realizar importantes proyectos en zonas rurales de difícil acceso y que no disponen de energía eléctrica y finalmente se lograría la reducción de emisiones de CO₂ contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

1.4 Alcance y limitaciones:

Alcance: La presente investigación se realizó con datos de radiación solar de 6 de las 8 provincias de la Región Piura; las provincias de las cuales se obtuvieron los datos de radiación solar fueron: Piura, Talara, Paita, Huancabamba, Sechura y Morropón. El tiempo de recolección de datos fue de 3 años, desde el 1 de Enero del 2012 hasta el 31 de Diciembre 2014.

Limitaciones: En Sullana y Ayabaca no se dispone de equipos de medición de radiación solar, por lo que no se puede hacer un mapa de la radiación solar al 100% de la Región Piura. Además el tiempo de toma de datos debería de al menos 5 años, por lo que no se puede ser concluyente en cuanto a los niveles de radiación en las 6 provincias monitoreadas.

Fundamentación y formulación de la Hipótesis:

Piura es una de las regiones en el Perú a la cual se le considera óptima para proyectos de La Región Piura posee un gran potencial de energía solar debido a sus condiciones climáticas, pero no hay estudios sobre la variación espacio – temporal de alta resolución sobre la generación de energía eléctrica usando este tipo de energía.

1.5 Metodología y Técnicas de Investigación:

1.5.1 Tipo de Investigación:

✓ **Según la finalidad que persigue: Investigación Aplicada**

Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad.

✓ **Según el nivel o alcance: Correlacional**

La utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales son saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas". Este tipo de estudio mide las dos o más variables que se desea conocer, si están o no relacionadas con el mismo sujeto y así analizar la correlación.

✓ **Según el enfoque: Cuantitativa**

"El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis previamente hechas, confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población según el marco en que tiene lugar: de campo

✓ **Según el modo de obtención de los datos: experimental**

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas.

Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

✓ **Según la orientación que se asume: orientada a la aplicación**

Investigación orientada a la adquisición de conocimientos con el propósito de dar respuesta a problemas concretos. En el marco de la intervención educativa se orienta a la toma de decisiones (investigación evaluativa).

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes:

2.1.1 Uso de la energía solar a lo largo de la historia:

➤ **Sistemas térmicos pasivos:**

El aprovechamiento de la energía solar se viene realizando desde los comienzos de la humanidad. La elección de la ubicación de refugios/edificaciones y su orientación para lograr el máximo aprovechamiento térmico del sol, son aspectos conocidos por las culturas desde tiempos ancestrales. De igual forma, los materiales con cualidades para retener el calor obtenido por la radiación diurna y los materiales aislantes para evitar la pérdida calorífica han sido también utilizados por todos los pueblos de la tierra ateniéndose a la variedad existente de los mismos, en función de las peculiaridades climáticas en donde han sido usados.

En el desarrollo de la arquitectura a lo largo de las diferentes épocas, se han usado diversos sistemas de ganancia directa o pasiva de energía proveniente del sol. De igual manera, la arquitectura popular ha sabido captar las especificidades del entorno y ha acomodado a éstas las edificaciones y sus necesidades térmicas.

➤ **Sistemas térmicos activos:**

Es conocida la leyenda de Arquímedes hace más de 2000 años, que para la defensa de la ciudad de Siracusa contra la flota de Roma utilizó espejos solares para quemar las naves. Así mismo, ya se conocen datos en el siglo XVII de utilización de concentradores u hornos solares para lograr altas temperaturas para fusión de metales. Es a finales del siglo XIX cuando además de la utilización de sistemas pasivos de aprovechamiento solar, se da un impulso a sistemas de aprovechamiento térmico en diferentes aplicaciones para el calentamiento del agua, sistemas de desalinización, e incluso el accionamiento de máquinas de vapor mediante energía solar.

En la década de los años veinte ya se muestra una pujante industria para la comercialización de sistemas de aprovechamiento térmico, si bien la bonanza económica de esos años, junto con el bajo precio del petróleo, y la situación internacional crispada en años posteriores hace que esta industria quede paralizada prácticamente hasta la década de los sesenta.

➤ **Sistemas fotovoltaicos:**

En la década de los sesenta, cuando los sistemas de aprovechamiento eléctrico de la radiación solar comienzan a estar presentes en el mercado, si bien los primeros módulos y paneles fotovoltaicos datan de la década de los años cincuenta, fruto de la investigación espacial. Las consecutivas crisis energéticas de las décadas de los setenta y ochenta provocan el surgimiento de nuevos impulsos para la consolidación e investigación de las diversas aplicaciones de aprovechamiento energético del sol.

En la última década del siglo se han desarrollado diferentes programas a nivel mundial, de grandes instalaciones de producción eléctrica mediante la energía solar, así como múltiples proyectos de aprovechamiento térmico de la misma, constatándose un mayor grado de sensibilización por parte de los profesionales de la edificación a la hora de aplicar criterios constructivos de aprovechamiento energético.

2.1.2 La Energía Solar en el Perú:

En el Perú, las condiciones orográficas, climáticas y oceanográficas, entre otras, determinan la existencia de tres grandes regiones naturales: Costa, Sierra y Selva. La Costa es la región limitada por el Océano Pacífico y las laderas andinas por debajo de los 2 000 msnm. La Sierra es la región de la Cordillera de los Andes, caracterizada por la presencia de cumbres y montañas con alturas de 6 768 msnm. La Selva es la región formada por dos zonas, el bosque tropical amazónico o selva baja y las pendientes y valles al este de los Andes bajo los 2 000 msnm conocido como selva alta.

A nivel anual, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kW h/m². Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre 5,5 a 6,0 kW h/m² son la costa norte (3° a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2 500 msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte.

La zona de bajos valores de energía solar en el territorio es la selva, donde se registran valores de 4,5 a 5,0 kW h/m² con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S). Asimismo, es importante acotar que

la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte.(SENAMHI, 2003)

El Ministerio de Energía y Minas, como ente promotor de las energías renovables, está desarrollando proyectos para la disseminación de equipos de energía solar fotovoltaica en zonas de pobreza y extrema pobreza, aplicando criterios de calidad y sostenibilidad en el tiempo.

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio nacional. El promedio Anual de (kwh/m²) dependiendo la zona geográfica es: Costa Sur: 6,0 – 6,5, Costa Centro: 5,5 – 6,0, Sierra: 5,5 – 6,0, Selva Sur: 5,0 – 5,5 y en la Selva Norte: 4,5 – 5,0

En el Perú existen experiencias en proyectos fotovoltaicos orientados a la electrificación rural; tanto en aplicaciones automatizadas (Los Uros – Puno), como concentradas (Padre Cocha - Iquitos) en sistema hibrido FV – Diesel.

Del mismo modo existen experiencias sobre el uso de energía solar pero con fines de uso térmico principalmente en el sur del país se ha desarrollado un mercado de termas solares con tecnología propia; también en zonas del norte como Chiclayo, existen piscinas temperadas. También hay pequeñas aplicaciones como invernaderos, secadores solares, etc.

- Nuevos proyectos solares:

Cuadro 01: Primera Subasta Recursos Energéticos Renovables.

Fuente: <http://www.minem.gob.pe/>

Proyecto	Tecnología	En operación	MW	Inversiones Estimadas (MM US\$)
Panamericana	Solar FV	2012	20	87
Majes	Solar FV	2012	20	75
Repartición	Solar FV	2012	20	75
Tacna	Solar FV	2012	20	85
Total			80	322

Cuadro 02: Segunda Subasta Recursos Energéticos Renovables.

Fuente: <http://www.minem.gob.pe/>

Proyecto	Tecnología	En operación	MW	Inversiones Estimadas (MM US\$)
Moquegua	Solar FV	2014	16	68
Total			16	68

2.2 Marco Teórico - Científico:

2.2.1 Conceptos sobre energía:

La naturaleza es un gran reservorio de almacenamiento de energía, a través de las plantas, los animales y todos los elementos, ya sean estos vivos o inanimados. Podemos citar varios ejemplos. Si vemos una caída de agua y la fuerza con que esa masa choca con la base del río nos impresionamos por la energía que se produce. En una tormenta de rayos nos mantenemos temerosos por la energía que tiene un rayo y los daños que puede ocasionar. (Sánchez, 2003)

Un huracán nos muestra la gran energía que los vientos pueden producir en la tierra o en el mar. Las olas al chocar con toda su fuerza en un acantilado o al llegar a la playa nos mantienen alejados. Qué decir de la energía que libera un volcán al erupcionar o cuando despierta de su letargo con una explosión de lava y ceniza. Al ver el Sol y esas imágenes de explosiones de miles de kilómetros que se producen en la superficie podemos imaginarnos la cantidad de energía que se produce y que a pesar de la distancia, llega a la Tierra. (Sánchez, 2003)

Cuando hablamos de energía pensamos en el concepto de fuerza y muchas veces empleamos ambos términos indistintamente. Mientras más fuerza ejerce un cuerpo se requiere más energía, y si una misma fuerza se mantiene durante un mayor tiempo esto igualmente demanda mayor energía. Por ejemplo, al empujar un carro, estamos ejerciendo una fuerza en una dirección. Mientras mayor es la distancia a la que movemos el carro estamos haciendo un mayor trabajo.

La definición clásica de trabajo es una fuerza por una distancia, simbólicamente:

$$W = \int F \cdot dx$$

Dónde:

F = fuerza, y se mide en Newtons, recordemos que la fuerza a su vez es una masa por una aceleración, es decir $[N] = [kg.m/s^2]$
 d = distancia, y se mide en metros $[m]$
 W = trabajo, y la unidad es el Joule $[J] = [N.m]$

La energía se define como la capacidad para producir trabajo. De aquí que la unidad de la energía es la misma que la del trabajo, el Joule $[J]$. Si jugamos un poco con las unidades $J = kg \cdot m^2/s^2$. $m = kg$. m^2/s^2 ; como velocidad es igual a distancia sobre tiempo $v=m/s$, entonces $J = kg \cdot v^2$. Fue Albert Einstein (1879 – 1955) quien descubrió que esta velocidad no es otra que la de la luz y dedujo su famosa fórmula:

$$E = m.c^2$$

Dónde:

E = Energía y se mide en Joules $[J]$
 m = Masa y se mide en kilogramos $[kg]$
 c = Velocidad de la luz y se mide en $[m/s]$ igual a $3,0 \times 10^8$ m/s

Esta fórmula nos muestra que la energía y la materia son intercambiables, siempre y cuando se produzca a la velocidad de la luz.

2.2.2 Unidades de Energía:

En el Sistema Internacional (S.I.) la energía se mide en julios (J). 1 J es, aproximadamente, la energía que hay que emplear para elevar 1 metro un cuerpo de 100 gramos.

- **Caloría (cal):** Cantidad de energía necesaria para aumentar 1 °C la temperatura de 1g de agua. 1 cal = 4,18 J.
- **Kilovatio-hora (kWh):** Es la energía desarrollada por la potencia de 1000 vatios durante 1 hora. 1 kWh = 3.600.000 J.
- **Tonelada equivalente de carbón: (tec):** Es la energía que se obtiene al quemar 1000 kg de carbón. 1 tec = 29.300.000 J
- **Tonelada equivalente de petróleo (tep):** Es la energía que se obtiene al quemar 1000 kg de petróleo. 1 tep = 41900000 J

- **Kilojulio y kilocaloría (kJ y kcal):** Son, respectivamente, 1000 J y 1000 cal. Se usan con frecuencia debido a los valores tan pequeños de J y cal.

2.2.3 Tipos de energía:

- Cinética:

La energía cinética es la energía que tienen los cuerpos por el hecho de estar en movimiento. Su valor depende de la masa del cuerpo (m) y de su velocidad (v).

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

La energía cinética se mide en julios (J), la masa en kilogramos (kg) y la velocidad en metros por segundo (m/s).

La energía cinética del viento es utilizada para mover el rotor hélice de un aerogenerador y convertir esa energía en energía eléctrica mediante una serie de procesos. Es el fundamento de la cada vez más empleada energía eólica.

La energía cinética es un tipo de energía mecánica. La energía mecánica es aquella que está ligada a la posición o al movimiento de los cuerpos. Por ejemplo, es la energía que posee un arco que está tensado o un coche en movimiento o un cuerpo por estar a cierta altura sobre el suelo.

- Potencial:

La energía potencial gravitatoria es la que tiene un cuerpo por estar situado a una cierta altura sobre la superficie terrestre. Su valor depende de la masa del cuerpo (m), de la gravedad (g) y de la altura sobre la superficie (h).

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

La energía potencial se mide en julios (J), la masa en kilogramos (Kg), la aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado (m/s²) -su valor es de 9,8 m/s²- y la altura en metros (m).

2.2.4 Relación entre trabajo y energía:

Considere un cuerpo de masa m que se mueve bajo la acción de varias fuerzas a lo largo del eje x. Sea F_R la resultante de todas esas fuerzas que, en

general, no son constantes. Como el movimiento es en una dimensión, el trabajo realizado por la fuerza resultante mientras el cuerpo se mueve desde P_1 hasta P_2 se calcula por la expresión

$$W_R = \int_1^2 F_R(x) dx$$

Sustituyendo en la expresión anterior la 2da ley de Newton $FR = ma$, y considerando que la masa del cuerpo no varía durante el desplazamiento, se obtiene:

$$W_R = m \int_1^2 a dx$$

2.2.5 Eficiencia Energética

Una forma de energía puede transformarse en otra como consecuencia de un proceso, generalmente por la acción de una máquina. Es así como el agua que cae en una central hidroeléctrica, donde intervienen las formas mecánica y gravitacional, se transforma por medio de un generador en energía eléctrica y ésta a su vez puede ser convertida por el usuario en una forma térmica, radiante o mecánica. (Feynman, 1998)

Esto nos lleva a uno de los conceptos más importantes sobre energía, que se conoce como la Primera Ley de la Termodinámica o Ley de Conservación de Energía:

“La energía no se pierde ni se destruye, solo se transforma”

2.2.6 Potencia y energía:

En muchos casos decimos que un automóvil es muy potente cuando puede subir una cuesta a una buena velocidad, o cuando un tractor o un camión pueden llevar un gran peso sin dificultad.

La potencia se asocia entonces al tamaño del motor o a la fuerza que puede dar, y así, mientras más grande es un motor, más potente es. La unidad de la potencia en el sistema internacional de unidades es el vatio [W]. Se utiliza también la unidad caballo de fuerza [hp], $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$. Es muy común utilizar el kilovatio [kW] o sea 1.000 vatios para dimensionar los sistemas energéticos.

La energía potencial del embalse de agua depende de la altura a la que está ubicado: mientras más alto, más potencia. Si tenemos dos embalses a la misma altura, uno con más agua que el otro, los dos tienen la misma potencia. Sin embargo, la energía que podemos aprovechar (o extraer) es mayor en el embalse más grande, pues podemos mantener un generador funcionando durante más tiempo. (Feynman, 1998)

Es similar al caso del motor de gran potencia que consume más combustible que uno pequeño. El tiempo es muy importante en sistemas de energía. Podemos entonces decir que:

$$[P] = [W] / [t] = \text{J/s} = \text{watt (w)} \\ = 1\text{w} = 1\text{J/s}$$

Dónde:

P = Potencia y se mide en vatios [W]
 W = Energía y se mide en Joules [J]
 t = Tiempo y se mide en segundos [s]

La potencia es la energía en una unidad de tiempo. La planilla de consumo eléctrico viene dada en kilovatios-hora [kWh], es decir que pagamos por el tiempo que nuestros focos y electrodomésticos están conectados.

Generalmente, en los sistemas energéticos se toma el tiempo como de una hora y así, energía y potencia tienen las mismas magnitudes.

➤ **Voltaje:**

Otra definición dice que la potencia es igual al voltaje por la corriente:

$$P = V.I$$

Dónde:

P = Potencia y se mide en vatios [W]
 V = Voltaje y se mide en Voltios [V]
 I = Corriente y se mide en Amperios [A]

El voltaje es una diferencia de potencial o carga eléctrica. Se lo conoce también como fuerza electromotriz. Para comprender el concepto podemos suponer que tomamos un electrón y lo subimos a una parte más alta, cuando lo “soltamos” puede llegar a una distancia mayor pues tiene mayor fuerza que otro electrón a menor altura. Esta diferencia de altura es el voltaje.

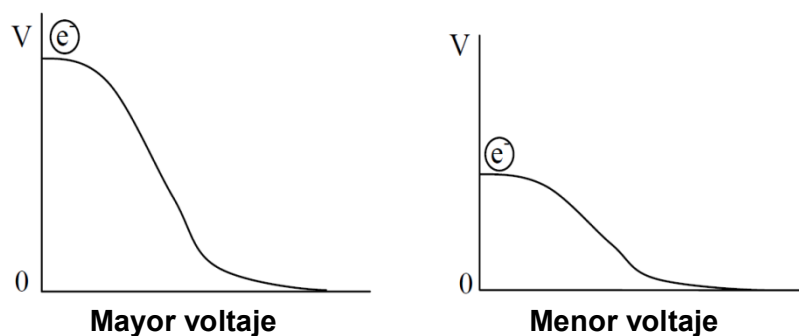


Fig. 01: Fuerza electromotriz o voltaje
Fuente: Programa Euro-Solar (2000)

Hay voltajes en corriente continua y corriente alterna. Una pila tiene 1,5 voltios de corriente continua; y, una batería 12 V de corriente continua. Los niveles de voltaje normalizados para electrodomésticos en el Ecuador son de 121 V y 210 V corriente alterna o CA o AC2.

Las líneas eléctricas de las ciudades tienen voltajes medios de 6.300V, 13.800V y 35.400 V. Los altos voltajes son de 69.000, 138.000 y 230.000 voltios. Vemos que si tenemos un alto voltaje la corriente puede llegar “más lejos” a las ciudades.

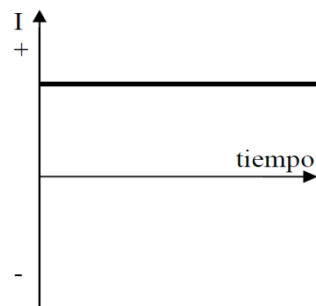
➤ Corriente

La corriente eléctrica es un flujo de electrones en un circuito eléctrico y se mide en Amperios que se representa por la letra [A]. El número de electrones que circulan determina la cantidad de corriente. Un amperio es un culombio durante un segundo, y un culombio es $6,24 \times 10^{18}$ electrones.

Hay dos tipos de corriente: corriente continua y corriente alterna. Una pila tiene corriente continua es decir que se mantiene en el mismo sentido durante todo el tiempo. La corriente alterna cambia de sentido en el tiempo, es decir que es positiva y luego negativa. Los motores, transformadores y generadores funcionan con corriente alterna y es la que usamos en nuestras casas.

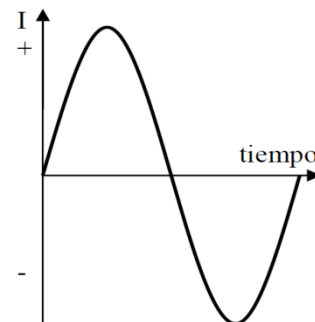
La ventaja de la corriente alterna es que permite elevar los niveles de voltaje en un transformador eléctrico para llevar la corriente a mayores distancias. La cantidad de veces que la corriente cambia de sentido en un segundo se conoce como frecuencia y se mide en Hertz o [Hz].

En la mayoría de países del continente americano la frecuencia estandarizada es de 60 Hz, mientras que en Europa y Japón es de 50 Hz.



Corriente continua.

No cambia de sentido en el (t)



Corriente alterna.

Cambia de positivo a negativo en el (t)

Fig. 02: Corriente continua y alterna

Fuente: Programa Euro-Solar (2000)

2.3 Definición conceptual de los términos:

2.3.1 Generación eléctrica usando energías no renovables.

Los combustibles fósiles son energías no renovables que se formaron hace más de trescientos millones de años, mucho antes de la era de los dinosaurios, por la descomposición de microorganismos que ocupaban los pantanos y el mar los cuales fueron sepultados bajo capas de lodo, roca y arena de cientos de metros en los sedimentos del mar y los ríos.

Por efecto del tiempo, del calor de la tierra, de la presión y de la acción de las bacterias, bajo cientos de metros se formaron primero zonas con un líquido espeso que luego se transformó en petróleo. El gas natural se formó en zonas más profundas y a mayores temperaturas. Con el paso del tiempo el petróleo y el gas natural fueron subiendo en la capa de la tierra y ubicándose en formaciones rocosas cerradas. Acciones y fuerzas similares actuaron para formar el carbón con la transformación de residuos muertos de árboles y plantas que se combinaron con agua de ríos y mares. Debido al contenido de azufre del agua de mar, el carbón formado con agua de mar tiene un mayor efecto contaminante comparado con el petróleo y el gas. (Llorente, M. 2000)

La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles ha sido el proceso de generación más importante del siglo XX y se anticipa que seguirá

siendo dominante durante la mayor parte del siglo XXI. En la actualidad el 80% del consumo energético del mundo proviene de los combustibles fósiles. En el caso de la electricidad, el 60% se genera a partir de éstos, el 16% con energía nuclear y otro tanto con energía hidráulica. (World Energy Outlook 2013)

Gráfico. 01: Demanda de combustibles fósiles 2001 - 2017.
Fuente: WorldEnergy Outlook 2013

El uso de combustibles fósiles para satisfacer las necesidades energéticas se prevé que continúe de manera dominante durante al menos la primera mitad de este siglo, aunque es necesario tomar medidas que reduzcan las emisiones de CO₂ a la atmósfera, debido a su impacto sobre el cambio climático. El uso de combustibles fósiles está siendo cuestionado, fundamentalmente por la producción de dióxido de carbono (CO₂) que se emite a la atmósfera, el cual contribuye a la acumulación de gases de efecto invernadero. El carbón es el combustible dominante para la generación de electricidad en el mundo; en Sudáfrica, prácticamente la totalidad de la energía eléctrica se genera a partir de carbón (99.8%), asimismo en China la generación eléctrica a partir de este combustible se ubica por encima del 90%. (International CopperAssociation, 2010)

No obstante, el predominio del carbón, desde 1970; la energía nuclear se incrementó en forma acelerada hasta mediados de la década de 1980. Asimismo, la generación a partir de gas natural creció rápidamente durante las últimas dos décadas, lo cual se refleja en la importante participación de este combustible en países como Argelia, Argentina e Irán.

En la actualidad, los altos precios de los hidrocarburos constituyen un tipo de incentivo para la diversificación de fuentes de energía, reforzando el importante rol del carbón y el renovado interés sobre la energía nuclear en la generación de electricidad. Asimismo, el actual escenario de altos precios de combustibles

fósiles podría estimular la competitividad de las fuentes renovables. (Guzmán, A. 2000)

Se estima que durante el periodo 2003-2015 la demanda mundial de energía eléctrica mantenga un dinamismo al alza de 3.3% en promedio anual, al pasar de 14,782 TWh en 2003 a 21,698 TWh en 2015, crecimiento que será principalmente impulsado por los países asiáticos en transición y latinoamericanos en desarrollo.

Durante el periodo 2003-2015, se espera que el consumo mundial de energía eléctrica por habitante se incremente en 2.1% anual, al pasar de 2,342 kWh/habitante en 2003 a 3,007 kWh/habitante en 2015. Las regiones con mayor consumo de electricidad por habitante en el ámbito mundial son Norteamérica y los países de Asia miembros de la OCDE (*Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico*).

En el caso de Norteamérica, se estima que hacia 2015 el consumo por habitante se ubicará en 11,496 kWh/habitante. Asimismo, hacia el final del periodo, en Asia OCDE el consumo se estima en 9,167 kWh/habitante, con un crecimiento anual de 1.7% que será impulsado principalmente por Corea del Sur. Asimismo, durante 2003 en los países miembros, el 60% del consumo total de electricidad se concentró en los sectores residencial y comercial, como resultado de la mayor penetración de equipos electrónicos y tecnologías de telecomunicaciones. (Fundación para Estudios sobre la Energía, 2010)

Por otra parte, el mayor crecimiento del consumo se presentará en países no miembros, con 3.8% en promedio anual. Entre estos países se estima que la región de Asia presente el dinamismo más fuerte con 4.9% durante 2003-2015, llegando a consumir 1,559 kWh/habitante al final del periodo. (Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015, 2006).

2.3.2 Generación eléctrica usando energías renovables:

Las energías renovables provienen de fuentes inagotables, principalmente el Sol y la Tierra y su disponibilidad no disminuye con el tiempo. El Sol y la Tierra seguirán proveyéndonos de energía durante algunos millones de años más, y con él los vientos, la fotosíntesis de las plantas, el ciclo de agua, las fuerzas del mar y el calor al interior de la Tierra.

A las fuentes de energía renovable se las conoce también como alternativas, pues ofrecen una solución diferente o alternativa a las tecnologías tradicionales. La Agencia Internacional de la Energía estimó que la producción mundial de electricidad se duplicará en los próximos veinticinco años. Dentro de esta cifra, se espera que la producción de energía renovable crezca en un 57%. Para lograr esto será indispensable que la eficiencia de la energía eléctrica mantenga bajos costos y una alta calidad de servicio.

El uso en gran escala de la energía renovable, o ER, es importante para el futuro por varias razones: para eliminar la dependencia con respecto a los combustibles fósiles, para combatir el calentamiento global y para elevar el nivel de vida de las poblaciones en los países en desarrollo. Gran parte de la ER es hoy en día un campo naciente de investigación, tecnología y fabricación, para el que se está desarrollando una nueva industria. (WorldEnergy Outlook 2013)

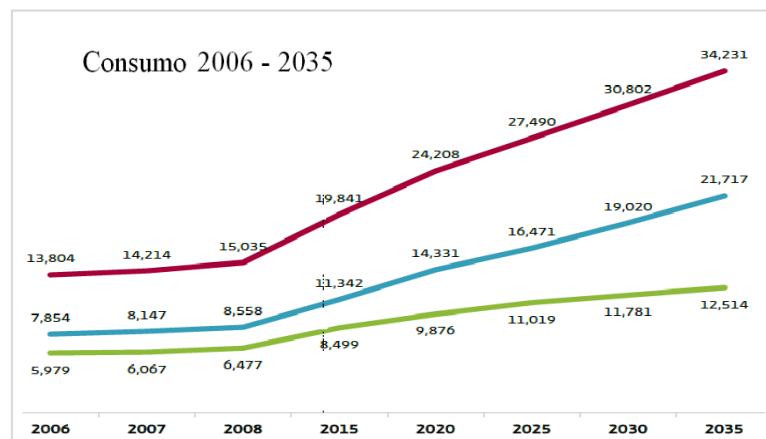


Gráfico. 02: Consumo en (TWh) de energía en eléctrica a partir de fuentes renovables Fuente: International Energy Outlook 2011, EnergyInformationAdministration, U.S.

2.3.3 Energía solar:

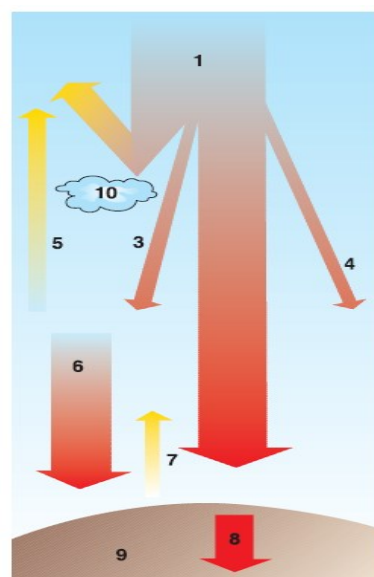
El Sol es la fuente principal de vida en la Tierra, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente irradia sobre nuestro planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. La cantidad de energía que el Sol vierte diariamente sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el Planeta.

Una de las formas de aprovechamiento de esta fuente de energía y que ha sido empleada tradicionalmente, la constituye la arquitectura solar pasiva consistente en aprovechar la radiación solar sin la utilización de ningún dispositivo o aparato intermedio, mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios, empleando correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos de los mismos: aislamientos, tipo de cubiertas, protecciones, etc. Aplicando criterios de arquitectura bioclimática se puede reducir significativamente la necesidad de climatizar los edificios y de iluminarlos. (Madrid solar, 2006)

2.3.3.1 Radiación Solar:

El sol constituye una fuente de energía permanente. Esta energía del astro solar llega a la tierra en forma de radiación. Sin embargo, del total de la energía que llega a la tierra procedente del sol, sólo 3/4 partes entran a través de la atmósfera.

Esta radiación es percibida en forma de luz. La luz no es más que una corriente de fotones que se han generado al producirse reacciones nucleares en el sol, y que llegan agrupados a la tierra en forma de haces de luz. Sólo una parte de ese haz de luz es captado por el ojo humano, en una gama de color que va del rojo al violeta. Sin embargo, el haz se extiende hasta el color ultravioleta y el infrarrojo.



1. Radiación solar (100%)
2. Reflexión de las nubes (30%)
3. Dispersión difusa (7%)
4. Absorción atmosférica (14%)
5. Dispersión difusa que reflejan los gases
6. Radiación celeste
7. Reflexión de la tierra (4%)

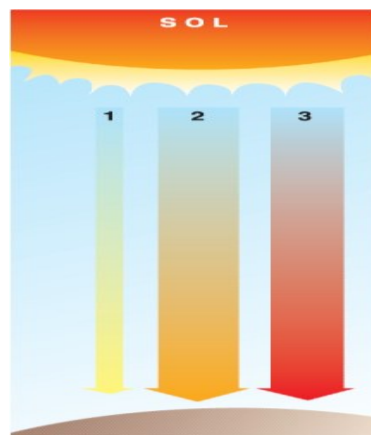
8. Radiación total que llega a la tierra (51%)
9. Superficie terrestre
10. Nubes

Fig. 03: Porcentajes de la radiación solar que llega a la tierra.

Fuente: <http://fjferrer.webs.ull.es/>

En estos haces de luz está presente la energía que proporciona el sol. Ahora bien, esta energía disponible emitida por el sol, ha de ser captada para lograr su aprovechamiento. La forma de captación, sólo puede producirse a través de la absorción por algún tipo de material y así lograr transformarla en energía térmica o eléctrica.

2.3.3.2 Energía solar:



1. Rayos ultravioleta (7%)
2. Luz visible (violeta, azul, verde, amarillo, rojo) (47%)
3. Rayos infrarrojos (46%)

Fig. 04: Composición de la energía solar.

Fuente: <http://www.efn.uncor.edu/>

La optimización del aprovechamiento de la energía solar depende de la cantidad de radiación recibida es variable según la época del año, de los materiales utilizados para su captación y de las formas de almacenamiento y consumo de la energía captada.

Dado que la utilización común de la energía solar es su aprovechamiento en forma lumínica y térmica, es preciso considerar cómo la radiación sólo se produce a lo largo de unas determinadas horas del día, que con frecuencia no coinciden con las del consumo directo de la misma. Es por ello por lo que un factor importante a considerar ha de ser la previsión de almacenamiento de la energía obtenida, de modo que pueda disponerse de ella en los momentos que se precise.

2.3.3.3 Irradiancia Solar

La irradiancia es la utilizada para describir el valor de la potencia luminosa (energía/unidad de tiempo) incidente en un determinado instante por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Sus unidades de medida son: W/m^2

2.3.3.4 Irradiación Solar

La irradiación también conocida como insolación se refiere a la cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo.

Sus unidades de medida son: Wh/m^2

Por su diferente comportamiento, la irradiación la podemos separar en tres componentes: la directa, la difusa y la reflejada.

- ✓ **Directa:** Es la que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.
- ✓ **Difusa:** Es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro aún de día, como sucede por ejemplo en la luna.
- ✓ **Reflejada:** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

$\text{Irradiancia Solar Global} = \text{Directa} + \text{Difusa} + \text{Reflejada}$

2.3.3.5 Causas de las variaciones de la radiación solar en la tierra:

La Tierra en su desplazamiento por la órbita solar realiza dos movimientos principales, el de rotación sobre su propio eje y el de traslación alrededor del Sol, que determinan la cantidad de luz y calor que llega a cada lugar de la superficie terrestre a lo largo del día y del año.

- Distancia Tierra-Sol:

La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, con el Sol ubicado en uno de sus focos, la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol. Por lo cual un valor preciso de la distancia Tierra-Sol r_0 se denomina “Unidad astronómica”:

$$1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$$

Distancia mínima Tierra - Sol: 0.983 AU

Distancia máxima Tierra - Sol: 1.017 AU

- Declinación solar

El plano en el cual la tierra gira en torno al Sol se denomina plano elíptico. La Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje denominado eje polar, El cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano denominado “plano eclíptico”. La rotación de la Tierra alrededor de este eje ocasiona los cambios diurnos en la radiación solar que incide en el planeta Tierra y la posición de este eje relativo al Sol causa los cambios estacionales en la radiación solar.

El ángulo entre el eje polar y la normal al plano elíptico permanece sin cambios. Aunque, el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea que une los centros del Sol y la Tierra cambia cada día, de hecho cambia en cada instante. Este ángulo es llamado “Declinación Solar” y es representado por la letra griega δ . La declinación es cero en los equinoccios de Primavera y de Otoño (las noches y los días duran lo mismo). En el solsticio de Verano tiene un ángulo de aproximadamente $+23.5^\circ$ y en el solsticio de Invierno un ángulo de -23.5° .

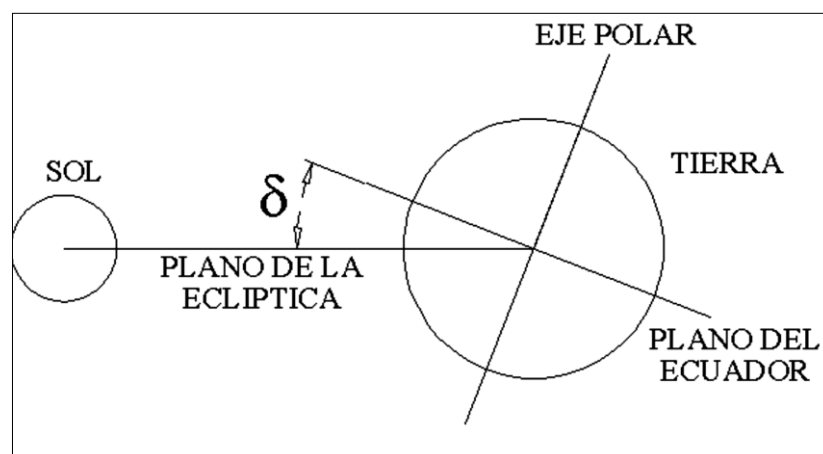


Fig.05: Declinación solar

- Movimiento de Rotación

Cada 24 horas, la Tierra da una vuelta completa alrededor de un eje imaginario que pasa por los polos. Gira en dirección Oeste-Este, en sentido contrario al de las agujas del reloj. A este movimiento le llamamos Movimiento de Rotación. Este movimiento es causante de la sucesión de días y noches, La mitad del globo terrestre quedará iluminado, en dicha mitad es de día mientras que en el lado oscuro es de noche. En su movimiento de rotación, los distintos continentes pasan del día a la noche y de la noche al día.

- Movimiento de Traslación

La traslación de la Tierra es el movimiento de este planeta alrededor del Sol. La Tierra en su viaje alrededor del Sol tarda en dar una vuelta completa 365 días y 6 horas, aproximadamente. Este denominado movimiento de traslación corresponde con el año solar. El hecho de que la órbita terrestre sea elíptica hace variar la distancia entre la Tierra y el Sol en el transcurso de un año. A primeros de enero la Tierra alcanza su máxima proximidad al Sol y se dice que pasa por el perihelio. A principios de julio llega a su máxima lejanía y está en afelio. La distancia Tierra-Sol en el perihelio es de 142,700,000 kilómetros y la distancia Tierra-Sol en el afelio es de 151,800,000 kilómetros.

- Las Estaciones, Equinoccios y Solsticios:

El cambio de las estaciones a lo largo del año se produce al darse la particularidad de que el eje de rotación de la Tierra se encuentra inclinado respecto del plano de la órbita, esto hace que los rayos del Sol incidan de forma diferente a lo largo del año en cada hemisferio.

Debido a este movimiento de traslación la Tierra pasa por cuatro momentos importantes durante su movimiento de traslación:

- ✓ Solsticio de Verano: Comienza el 21 de junio, el Hemisferio Norte se inclina hacia el Sol. Los días son más largos que las noches y los

rayos del Sol inciden de forma más perpendicular, al situarse el Sol en la vertical del Trópico de Cáncer, iniciándose en este hemisferio la estación más calurosa, el verano. Sin embargo en el Hemisferio Sur se produce la situación contraria, iniciándose entonces el invierno.

- ✓ Equinoccio de Otoño: Comienza el 22 de septiembre, los días y las noches tienen igual duración en todo el planeta, al situarse el Sol en la vertical del Ecuador, comenzando el otoño en el Hemisferio Norte y la primavera en el Sur.
- ✓ Equinoccio de Primavera: Comienza el 21 de marzo, los días y las noches tienen igual duración en todo el planeta, al situarse de nuevo el Sol en la vertical del Ecuador, comenzando la primavera en el Hemisferio Norte y el otoño en el Hemisferio Sur.
- ✓ En el Solsticio de Invierno, 22 de diciembre, es el Hemisferio Norte el que tiene los días más cortos que las noches, a la vez que los rayos del Sol inciden de una forma más oblicua, al situarse el Sol en la vertical del Trópico de Capricornio, comenzando en este hemisferio la estación más fría, el invierno. En el Hemisferio Sur se produce la situación contraria, iniciándose entonces el verano.

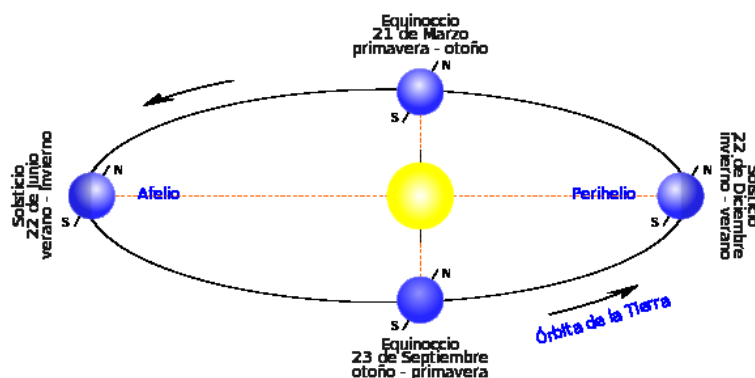


Fig. 06: Movimiento de la Tierra respecto al Sol.
Fuente: http://www.meteoraleja.es/info/p1_tierra.htm

2.3.3.6 Variación de la energía solar en el mundo:

Los valores máximos de enero se concentran en las zonas subtropicales, en torno a los 30° de latitud sur, debido a que en esa época los rayos solares llegan a la superficie terrestre más perpendicular sobre esas latitudes. En el mes de julio, los valores máximos se trasladan hacia las zonas subtropicales del hemisferio norte, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Es necesario resaltar que en la noche polar de cada hemisferio, la radiación solar que llega a las zonas polares es cercana a cero. Y en el día polar la radiación solar en los polos es equivalente a la radiación solar de latitudes medias del hemisferio opuesto al día polar, pero sabemos que las temperaturas no son equivalentes, ya que en los polos en época de días polares las temperaturas son siempre cercanas o menores que cero grado Celsius.

El mapeado de la radiación solar media en el mundo, nos da una idea de qué zonas son las que reciben mayor radiación solar. Éstas se encuentran principalmente en la zona del ecuador, difuminándose hacia los polos, aunque entran en juego distintos factores como la nubosidad o las características geológicas del suelo, refractando esta mayor o menor radiación, contribuyendo al efecto invernadero y al aumento de la temperatura.

2.3.3.7 Distribución espacial y temporal de la energía solar en el Perú:

➤ Distribución espacial:

A nivel anual, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kW h/m². Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre 5,5 a 6,0 kW h/m² son la costa norte (3 a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2 500 msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte.

Una zona con bajos valores de energía solar son los territorios de selva, donde se registran valores de 4,5 a 5,0 kW h/m² con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S).

Asimismo, es importante acotar que la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte.

➤ **Distribución estacional:**

La distribución de la energía solar en el territorio peruano se ve afectada por diversos factores que controlan el clima, tales como: la cordillera de los Andes, que configura la orografía del territorio peruano; el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), que produce gran estabilidad atmosférica por la presencia de movimientos verticales descendentes en la tropósfera media; el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), que provee de humedad y alimenta a los vientos alisios del sureste; la Corriente Fría Peruana en el Océano Pacífico, que refuerza la estabilidad en la atmósfera; la Corriente Cálida Ecuatorial (“Corriente El Niño”), que inestabiliza la atmósfera en la costa norte en los meses de verano; la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que genera muy activos sistemas nubosos; la Alta de Bolivia que se asocia a sistemas convectivos que suelen afectar mayormente la sierra y selva norte y central del Perú.

Durante el verano austral (diciembre a marzo) el sol se encuentra irradiando el hemisferio sur con mayor intensidad, sin embargo, este hecho no se traduce en los mapas, especialmente en la parte norte y central de la sierra y selva (0 a 10° S y 70 a 79° W), las mismas que presentan valores relativamente bajos de energía solar, no obstante la considerable altitud de las zonas montañosas que determinan una menor absorción de la irradiación al atravesar un menor espesor atmosférico.

Esto se debe a la interacción de los principales controladores climáticos tales como el Sistema de Alta presión del Océano Pacífico Sur (APS), el Sistema de Alta presión del Atlántico Sur (AAS); la ZCIT muy activa en este hemisferio en estos meses, la Alta de Bolivia y la Cordillera de los Andes, determinan la llegada y/o formación en el territorio peruano de

sistemas nubosos que originan las lluvias en esta época (“época lluviosa”), lo que genera una sustancial disminución de la transmisividad atmosférica sobre toda esta región.

Durante el invierno la energía solar recibida disminuye en general en todo el territorio debido a que el sol se encuentra irradiando más intensamente el hemisferio norte (solsticio de invierno). Este efecto estacional se puede apreciar claramente en el comportamiento de la irradiación solar extraterrestre.

En primavera, el sol inicia su retorno en su marcha aparente hacia el hemisferio sur, determinando disminución de la humedad atmosférica en este hemisferio debido a que la ZCIT está situada en el hemisferio norte. Esto provoca la ausencia de nubosidad y de lluvias (condiciones de estiaje o estación seca) en la sierra norte y central por lo que la transmisividad de la atmósfera alcanza sus máximos valores, registrándose consecuentemente los valores más altos de energía solar diaria recibida en esta región (noviembre). Asimismo, la región de selva alcanza también sus mayores valores en este mes, especialmente la selva norte.

La sierra sur y parte de la sierra central muestran altos valores de energía solar, presentándose los máximos a fines de primavera y durante el verano, lo cual se debe a que se encuentra menos influenciada por los controladores climáticos que generan los sistemas nubosos como son la ZCIT y la Alta de Bolivia. La ZCIT tiene mayor dominio e influencia sobre la sierra norte y central del territorio peruano, mientras que la Alta de Bolivia, ejerce mayor influencia sobre la sierra central y sierra sur, originando y manteniendo la convección diurna y la humedad atmosférica en niveles medios en los flancos occidentales de los Andes, pudiendo incluso ser realimentada la convección entre los 5 y 8° S a lo largo de los Andes (sobre los 2 400 msnm) por las brisas de montaña o brisas marinas.

En términos generales, en la región de la costa central y sur ocurren valores altos de heliofanía y por lo tanto altos valores de energía solar en la época del verano austral; sin embargo, es necesario detallar algunas excepciones. En la franja costera cercana al litoral, ubicada por debajo de

los 600 m de altura, el comportamiento descrito anteriormente cambia durante fines de otoño, invierno e inicios de primavera en que esta región muestra valores marcadamente bajos de heliofanía y energía solar y constituye una zona de mínimos en el territorio. Estas condiciones se dan en razón de que la transmisividad atmosférica disminuye considerablemente debido a la intensificación durante estos meses de la inversión térmica, que determina una capa nubosa baja (estratiforme) e incluso fuerte presencia de nieblas en esta región.

Esto es originado por la mayor influencia del APS que en esta época migra hacia su posición más al norte en el Pacífico sur (30° S y 90° W), esto es, más cerca al litoral peruano, y tiene una mayor intensidad y amplitud; por otro lado, a las menores temperaturas superficiales de la Corriente Fría Peruana y la presencia e intensificación de afloramientos costeros de aguas frías profundas sub superficiales. A fines de primavera, en las terrazas desérticas de Arequipa, Moquegua y Tacna ($13,5$ a 18° S y 70 a 76° W), por encima de los 1000 msnm, se alcanzan los mayores valores de energía solar durante el año y de todo el territorio nacional. Esto se debe a que están ubicadas encima de la capa de inversión térmica y presentan cielo despejado durante todo el año.

La costa norte, entre los 3 y 6° S y los 80 a 81° W (departamentos de Tumbes, Piura y norte de Lambayeque) presenta también valores altos de heliofanía y energía solar durante el verano austral, presentándose, sin embargo, los valores máximos en los meses de octubre y noviembre (primavera) y que constituye otra de las zonas en que se alcanzan altos valores de energía solar en términos anuales.

Esto se debe a que esta zona al igual que toda la zona costera peruana se encuentra fuera de la zona de migración y principal influencia de la ZCIT, pero dentro del gran dominio del APS, en tanto que la Corriente Fría Peruana sólo domina las costas hasta aproximadamente 6° S.

También son importantes aunque excepcionales, las ondas de calor y los pulsos de aguas cálidas del océano Pacífico central-occidental, los cuales hacen inestable la atmósfera, especialmente durante los episodios del fenómeno “El Niño”, provocando mayor cobertura nubosa y en algunas veces tormentas e intensas lluvias.

Un caso a resaltar es el comportamiento de la irradiación solar en nuestro litoral costero. La zona costera baja del Perú, entre 0 a ~900 msnm, se caracteriza porque durante gran parte del año hay considerable nubosidad y formación de nieblas, presentando algunas particularidades climáticas locales.

Es particularmente en la costa sur ($15^{\circ} 15'$ a $18^{\circ} 20'$, sur de Ica hasta Tacna) que no se dispone de muchos datos de irradiación solar medidos, de calidad aceptable, por lo que se ha recurrido a datos registrados por estaciones automáticas durante los años 2001 y 2002 en tres transeptos altitudinales, observándose que la irradiación solar recibida a lo largo del litoral, en la mayoría de los meses del año, es menor entre el 15% y el 30% que la recibida en partes más altas, mientras que en el verano esta situación se revierte en un 10%.

2.3.3.8 Aplicaciones de la energía solar:

Cuando se habla de cuáles son las aplicaciones posibles del aprovechamiento de la energía solar es preciso diferenciar claramente entre:

- **Energía eléctrica:** que capta la energía solar mediante un sistema específico que la transforma en electricidad.
- **Energía térmica:** dentro de ésta es preciso diferenciar también entre la energía captada de forma directa, sin ningún tipo de transformación, y la energía captada de forma indirecta o mediante un sistema activo de captación.

Por tanto, en función de la forma de captación de la radiación y la energía contenida en la misma, habrá de diferenciarse entre sistemas activos y sistemas pasivos.

-**Los sistemas activos:** utilizan determinados materiales para captar la energía solar y transformarla en una energía específica -térmica o eléctrica-. Así parte de la radiación electromagnética del sol se transforma

en energía eléctrica mediante la reacción con determinados materiales que tienden a ser excitados por un fotón luminoso. De aquí recibe el nombre de energía fotovoltaica.

Los sistemas denominados activos para la obtención de energía térmica tienen por finalidad transformar parte de la radiación electromagnética del sol en energía calorífica.

Para ello se utilizan materiales que captan de forma selectiva la longitud de onda de la radiación que más calor proporciona -en la gama de luz que va del infrarrojo al ultravioleta-. Este calor mediante sistemas de conducción y convección es utilizado o almacenado para su posterior consumo.

- **Los sistemas pasivos:** captan de forma directa la energía del sol, sin ningún tipo de mecanismo ni transformación previa. Estos sistemas, también denominados de captación directa consisten en utilizar materiales y diseños adecuados que posibiliten la mayor ganancia energética, principalmente en los edificios, si bien pueden tener aplicaciones en balsas de agua, almacenamiento en roca y materia mineral entre otras, mucho menos utilizadas dada la escasa practicidad que ofertan.

2.3.3.9 Estudio de la energía solar:

a) Medición de la energía solar:

La intensidad del flujo energético solar que incide en la tierra depende de la latitud del sitio: mientras más cerca del ecuador, la luz incide de forma más perpendicular en la tierra, es decir con una intensidad más alta. Por otro lado, la intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas. La magnitud que describe la intensidad de la radiación solar, se conoce como radiancia o irradiancia y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

La radiación es la energía solar que incide en una placa plana de un metro cuadrado. Como la posición de la tierra con respecto al sol cambia constantemente, el ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie cambia según la hora del día y según el día del año. Por eso, la orientación y la inclinación de la superficie determinan la cantidad de energía solar que

recibe. Fuera de la atmósfera, la irradiancia tiene un valor que se admite actualmente como de $1,354 \text{ W/m}^2$ con variaciones de alrededor de 50 W/m^2 según varía la distancia entre la tierra y el sol.

Cuando el cielo está completamente despejado, la irradiancia en el suelo terrestre es de alrededor de $1,000 \text{ W/m}^2$. Es decir que la cuarta parte de la energía procedente del sol es amortiguada por la atmósfera. Para efectos de utilización de la energía solar, el término radiación se usa para cuantificar la densidad superficial de energía solar incidente en una superficie plana. Por lo general, se entiende por radiación solar el promedio diario de la irradiancia que incide sobre una superficie plana de un metro cuadrado.

La radiación se mide entonces en vatio-horas por metro cuadrado (Wh/m^2). Para el diseño técnico de la mayoría de los sistemas solares, la radiación proporciona el dato más importante, porque representa la energía que se puede aprovechar. Este dato permite realizar un diseño básico del sistema. La irradiancia, en función de la hora del día, puede contribuir al entendimiento de las características dinámicas del sistema solar y permite afinar el diseño técnico.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.

La radiación difusa RD es aquella que está presente en la atmósfera gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar de las nubes y otros elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa es direccional y puede reflejarse y concentrarse, mientras que la difusa no, pues es omni-direccional.

b) Instrumentos de medición:

El instrumento que sirve para medir la energía solar es el solarímetro. Básicamente hay dos tipos de solarímetros: el piranómetro y el medidor fotovoltaico. Ambos tipos miden la radiación solar tanto directa como indirecta (difusa).

- El piranómetro posee una pequeña plancha de metal negro en su interior, con una termocupla unida a ella. Esta plancha negra se calienta al sol y con la termocupla, el aumento de temperatura se puede medir. La plancha y la termocupla están cubiertas y aisladas por una cúpula de vidrio. La salida de la termocupla es medida para la radiación instantánea total en un momento dado.
- El medidor fotovoltaico no es nada más que una pequeña célula fotovoltaica que genera electricidad. La cantidad de electricidad es medida para conocer la radiación instantánea. Estos medidores son mucho más económicos que los piranómetros pero menos exactos.

c) Unidades en energía solar

La radiación solar, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En el siguiente cuadro se da una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión.

Cuadro 03: Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica
Fuente: (Orbegozo y Arivilca, 2010)

Unidad	Explicación	Conversión
Potencia solar		
Wp	Watt pico	
W	Watt	-
KW	Kilowatt (1000 W)	-
W/m ²	Watt por metro cuadrado	-
		-
Energía solar		a KWh/m²
KWh/m ²	KWh por metro cuadrado	1
KJ/cm ²	KJ por centímetro cuadrado	2.778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0.2778
KCal/cm ²	1 000 Calorías por centímetro cuadrado	11.67
Btu/ft ²	Unidades térmicas británicas por pie cuadrado	0.0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0.0116

2.4 Energía solar fotovoltaica:

2.4.1 Efecto fotovoltaico:

Este efecto se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda

están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica.

Básicamente un semiconductor es una sustancia o material que posee una conductividad eléctrica intermedia. Esto significa que no tiene ni conductividad tan buena como el metal ni tan mala como los aislantes.

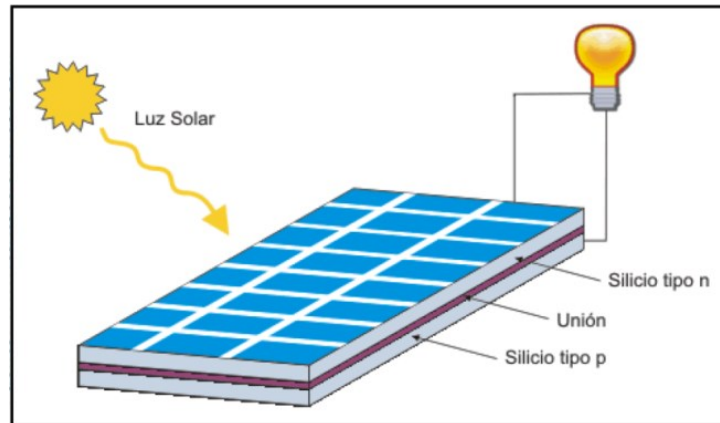


Figura 07: Esquema del efecto FV.
Fuente: www.textoscientificos.com

2.4.2 Sistema Fotovoltaico (SF):

El Sistema fotovoltaico (SF), produce energía eléctrica directamente de la radiación solar. La función básica de convertir la radiación solar en electricidad la realiza el modulo fotovoltaico. La corriente producida por el modulo fotovoltaico es corriente continua a un voltaje que generalmente es de 12V (Voltios), dependiendo de la configuración del sistema puede ser de 24V o 48V.

La energía eléctrica producida se almacena en baterías, para que pueda ser utilizada en cualquier momento, y no sólo cuando está disponible la radiación solar. Esta acumulación de energía debe estar dimensionada de forma que el sistema siga funcionando incluso en periodos largos de mal tiempo y cuando la radiación solar sea baja (por ejemplo, cuando sea un día nublado). De esta forma se asegura un suministro prácticamente continuo de energía.

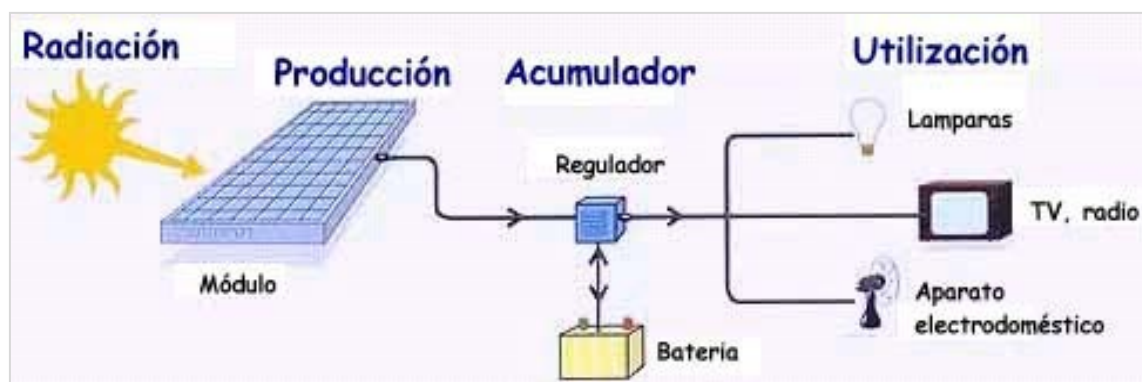


Figura 08: Instalación solar fotovoltaica sin inversor, utilización a 12Vcc
Fuente: <http://fotovoltaica-energia.blogspot.com/>

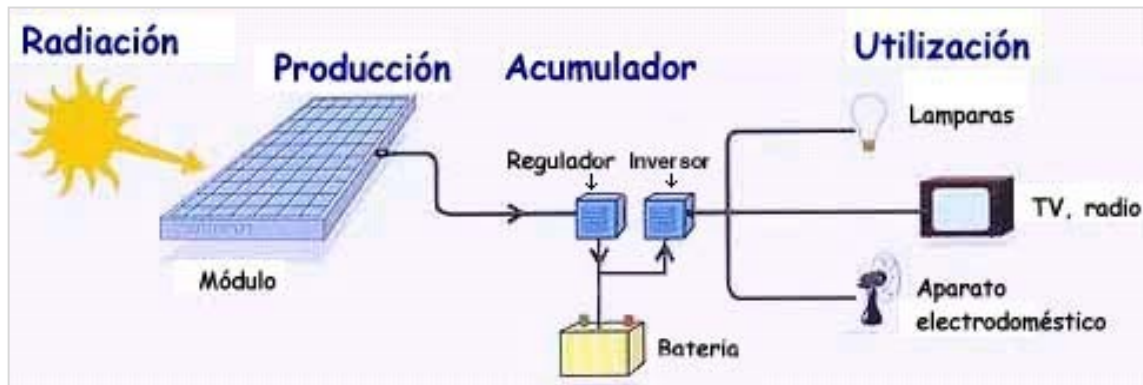


Figura 09: Instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 110Vca
Fuente: <http://fotovoltaica-energia.blogspot.com/>

2.4.3 Componentes de un Sistema Fotovoltaico (SF):

El Sistema Fotovoltaico (SF) permite la alimentación autónoma de equipos de iluminación, refrigeradores de bajo consumo, radio, televisor. Garantizando un servicio de energía eléctrica ininterrumpido, de larga vida útil y con el mínimo mantenimiento.

Este sistema está conformado básicamente de un módulo fotovoltaico (generador fotovoltaico), una batería (sistema de acumulación), un regulador de carga (equipo de control), un inversor y las cargas en corriente continua (luminarias, Televisor, etc.). A estos elementos hay que añadir los materiales auxiliares de infraestructura (cables, estructuras soporte, etc.).

2.4.3.1 La célula solar:

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor

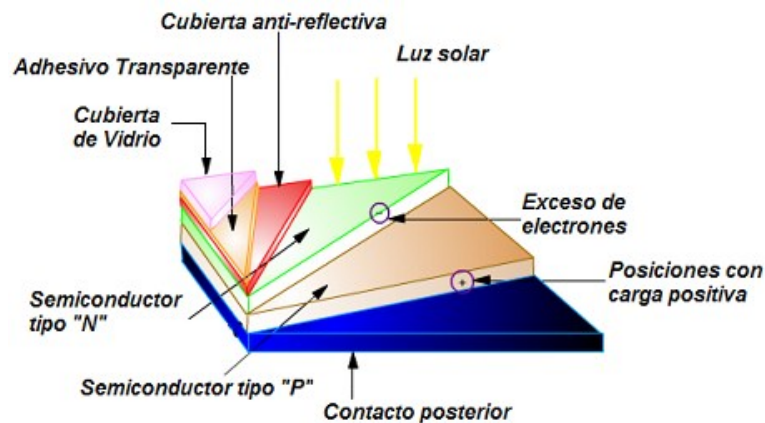


Fig. 10: Componentes de una celda solar típica

Fuente: <http://tecnologiandecologia.blogspot.com/>

Parámetros fundamentales de la célula solar:

- Corriente de iluminación (IL): la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- Corriente de oscuridad: es debida a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- Tensión de circuito abierto (VOC): la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- Corriente de cortocircuito (ISC): máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

Funcionamiento de una celda solar:

La celda solar logra convertir luz en energía eléctrica debido a los fotones que son parte de todo rayo de luz. Los fotones no son más que la partícula elemental de toda señal electromagnética, así como los átomos son la

partícula elemental de toda la materia. Todo fotón contiene una cantidad infinitesimal de energía (4×10^{-19} Joules), y toda luz visible al ojo humano lleva grandes cantidades de fotones. Es la energía contenida en toda esta masa de fotones la que aprovecha la celda solar para convertir a electricidad.

El siguiente es el proceso básico, repetido millones de veces, que permite a una celda solar generar energía eléctrica:

- Los fotones pegan en la superficie de la celda, usualmente de vidrio. Ese permite pasar la luz a la capa de semiconductor n.
- Los átomos en la capa de semiconductores tipo n se excitan, "soltando" electrones, lo que genera un exceso de electrones en la misma.
- La capa de semiconductor tipo p tiene deficiencia de electrones, lo cual atrae a los electrones excitados provenientes de la capa tipo n. En términos eléctricos, se genera una diferencia de potencial entre ambas capas de semiconductor, mejor conocido como voltaje.
- Ya que la única manera de llegar del semiconductor tipo n al p es a través del cable que une a ambas, los electrones escogen esta vía. Esto causa un campo eléctrico en este cable, y esta es la corriente eléctrica que estamos buscando.

Rendimiento.

El rendimiento se define como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica y la potencia luminosa que incide sobre su superficie. El rendimiento obtenido en laboratorio sobre células de silicio monocristalino es del 22% - 24%, pero una vez que se pasa a su fabricación masiva éste baja a un valor aproximado del 15%, lo que quiere decir que, de cada 100 vatios que recibimos del Sol, tan sólo 15 se aprovechan para nuestro uso. El hecho de este rendimiento tan bajo se debe fundamentalmente a los siguientes factores:

- Energía insuficiente de los fotones incidentes.
- Pérdidas por recombinación.
- Pérdidas por reflexión.

- Pérdidas por los contactos eléctricos.
- Pérdidas por resistencia serie.

2.4.3.2 El panel solar

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V.), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico consta de diversas capas que recubren a las células por arriba y por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que además las protegen contra los agentes atmosféricos, especialmente el agua, que puede llegar a ser causante de la oxidación de los contactos, con lo cual las células quedarían inservibles para la producción de energía. Los módulos fotovoltaicos tienen estructuras y formas muy variadas. Podríamos hacer una división general diciendo que un módulo puede estar formado por:

- Cubierta exterior
- Capa encapsulante anterior
- Células fotovoltaicas
- Capa encapsulante posterior
- Protección posterior
- Marco soporte

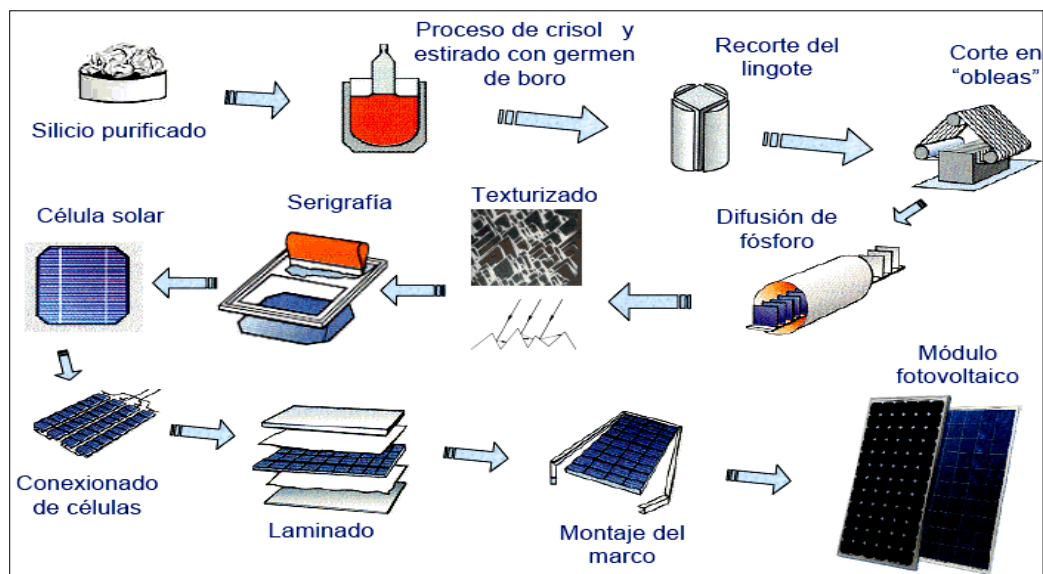


Fig. 11: Proceso de fabricación de un módulo solar
Fuente: <http://www.electricidad-gratuita.com/>

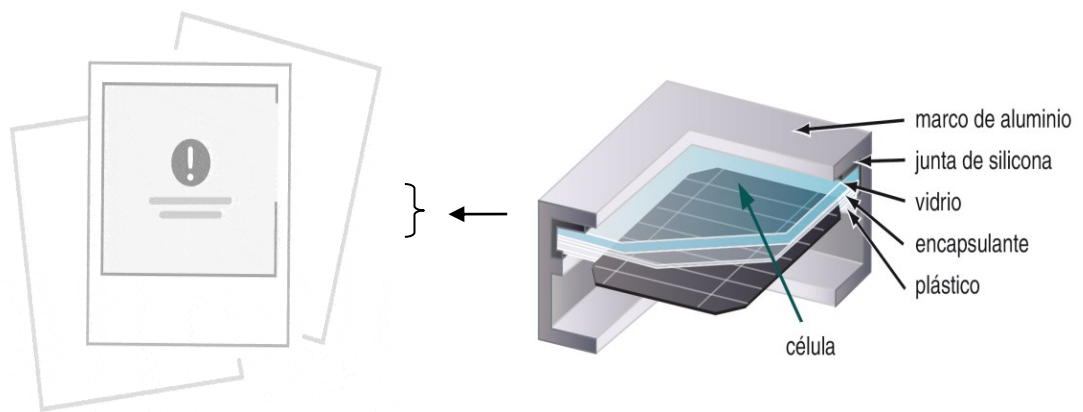


Figura 12: Panel solar o módulo fotovoltaico y una célula solar en detalle.

Fuente: www.dforcesolar.com

Tipos de paneles solares, según la tecnología de fabricación:

Los PS se clasifican por la tecnología con la que se fabrican las células y son fundamentalmente fabricadas con:

- **Silicio cristalino:**

S.C. Monocristalino:

Se fabrica de un solo cristal “crecido” que va formándose poco a poco hasta formar un bloque. Las celdas son luego cortadas en rodajas delgadas de 250 a 350 μm .

El límite de eficiencia de la celda cristalina es de alrededor del 25%. Actualmente este tipo de celdas llegan a eficiencias del 15% a 17%. Se las diferencia porque tienen un color uniforme y generalmente son circulares o cortadas en sus bordes.

S.C. Multicristalino

Se fabrica con cristal de silicio fundido que se pone en un molde. Es más barata que la celda monocristalina, pero su eficiencia límite es del 20%. Se le conoce porque su color es irregular y más claro que la monocristalina y tiene una forma rectangular sin cortes en los bordes.



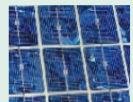
- **Silicio amorfo:**

Utiliza una nueva tecnología que consiste en una película delgada de cristal de silicio puro sobre un sustrato de vidrio o cerámica. Esta capa no supera los 20 μm , es decir casi un tercio de grueso que un cabello.

El espesor de toda la celda es de 300 a 800 μm . El sustrato también puede ser plástico lo cual permite obtener un panel flexible. Actualmente la eficiencia de estas celdas está en alrededor del 10% aunque en laboratorios se ha logrado llegar a niveles del 19%.

La ventaja de esta tecnología es que es mucho más barata que las celdas cristalinas y en el proceso de fabricación no se utilizan elementos contaminantes.

Cuadro 04: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.
Fuente: www.goalzero.mx

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

2.4.3.3 Regulador:

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobre-descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de

asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería.

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas. El motivo de que esta tensión nominal de los paneles se debe fundamentalmente a dos razones:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión VOC del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

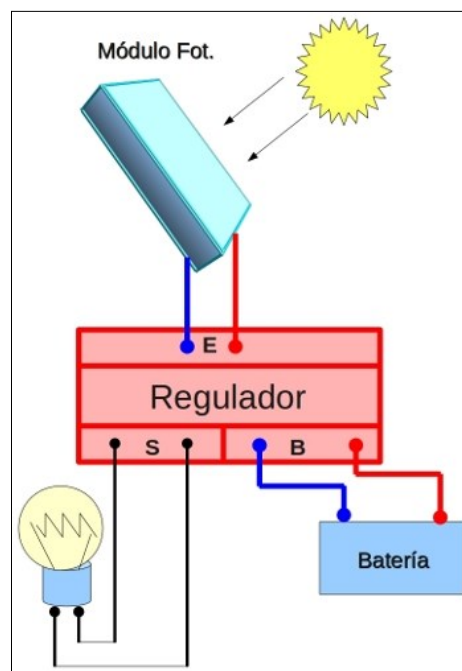


Fig. 13: Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.

Fuente: <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/>

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno.

Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se

conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

Habitualmente, el control del estado de carga de las baterías se realiza mediante la medida de la tensión en bornas, usando los datos proporcionados por los diferentes fabricantes, ya que existe una relación entre estos dos parámetros. Así, el circuito de control del regulador de carga sabe cuándo éste debe empezar a actuar limitando la corriente proporcionada por el grupo fotovoltaico.

Tipos de reguladores:

- Regulador shunt.

Los dispositivos de este tipo, colocados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión de los bornes de la batería y cuando ese potencial alcanza un valor establecido de antemano, crean una vía de baja resistencia a través del grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías.

Un diodo en serie, situado entre el regulador en derivación y la batería, impide que la corriente del acumulador retorne a través del regulador o del grupo solar. Como el sistema al que se está dando energía toma corriente de la batería, su tensión en los bornes descenderá hasta que se desconecte el regulador en derivación y se reanude la carga. Los reguladores del tipo shunt han de disipar toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de coste elevado

Este tipo de reguladores, está hoy día en desuso, ya que el avance en los microprocesadores y la electrónica en general ha facilitado el diseño de equipos más compactos y con más prestaciones que las que ofrecían aquéllos, con un coste mucho más contenido y la posibilidad de alojarlos en cajas estancas, cosa que no se podía

hacer en el caso de los reguladores shunt, puesto que disipan calor y en consecuencia debe dejarse una salida para su evacuación.



Fig. 14: Regulador tipo shunt FODelectronic
Fuente: <http://ludens.cl/Electron/solar2/regulador.html>

- Regulador serie.

Se basan en el concepto de regulación en serie, en la que el grupo solar se desconecta del sistema de baterías cuando se logra un estado de plena carga, por lo que es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga y un circuito abierto entre el grupo y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada.

En el regulador serie que utilice relé electromecánico no se disipa nada de energía en ninguno de los estados, porque cuando está en la posición cerrado no hay caída de tensión en el interruptor y cuando se encuentra en posición abierto no hay paso de corriente. La única potencia consumida es la requerida para el propio funcionamiento de los circuitos de control y, en su caso, la producida por la caída de tensión en el diodo de bloqueo, si se le dota de este elemento al regulador.

Hoy en día se emplean relés de estado sólido, que evitan los considerables tamaños y consumos de las bobinas que necesitaban para su funcionamiento los relés tradicionales, así como la destrucción prematura de sus contactos, especialmente en tensiones de trabajo de más de 24 V, debido a los arcos voltaicos que es capaz de producir la corriente continua en estos valores.

Se deduce, pues, que la calidad de un regulador serie está ligada a la calidad del relé que utiliza, que es lo que dará una vida prolongada a este equipo.



Fig. 15: Regulador serie StecaSolarixPRS
Fuente: <http://www.energiasrenovablesperu.com/>

- Módulos fotovoltaicos autorregulados.

También existen en el mercado fotovoltaico paneles solares que no necesitan usar regulador de carga. Este hecho proporciona múltiples ventajas en coste y fiabilidad, ya que tan sólo trabajan los dos elementos más robustos: el panel y la batería.

La curva de carga de un módulo fotovoltaico autorregulado tiene que cumplir el requisito básico de lograr un grado elevado de carga en la batería, disminuyendo entonces la corriente producida hasta un mínimo de mantenimiento. De esta forma, se consigue una carga adecuada sin producir evaporación de electrolito.

Para ello es necesario que la relación voltaje-corriente sea inversa, es decir, que una demanda de tensión en la batería que se produzca entre el 90% y el 100% de su estado de carga, haga trasladar el punto de trabajo del panel solar fuera del codo de su curva característica y, en consecuencia, se genere una corriente eléctrica cada vez menor que haga mantener automáticamente el nivel de carga idóneo. Si en ese momento conectáramos algún consumo a la batería, éste haría bajar su voltaje, con lo cual, el punto de trabajo volvería a desplazarse a lo largo de la curva hasta dar la máxima intensidad posible en función de la radiación solar en ese momento y la tensión a la que quedase la batería.

Habitualmente, el número de células que incorpora un módulo autorregulado se sitúa entre las 30 y las 32, dependiendo de la tensión generada por célula y tipo de curva.

Debemos de tener en cuenta, a la hora de utilizar un sistema fotovoltaico autorregulado, que la capacidad del acumulador ha de estar en proporción con la potencia pico que sea utilizada en el sistema. Según esto, una proporción de 100 Ah de batería por cada 40 Wp de panel sería idónea. Como ejemplo práctico, podríamos suponer que en el caso de tener una potencia total en módulos de 120 Wp a 12 voltios, la capacidad debería rondar los 300 Ah.

Existen determinados casos donde el panel autorregulado no es apropiado, como por ejemplo grandes instalaciones, lugares donde la temperatura pueda ser excesivamente alta y mantenida o, por el contrario, excesivamente fría y con elevada radiación, aplicaciones donde la capacidad de la batería sea muy pequeña, etc. Pero en definitiva, podemos afirmar que el panel autorregulado presenta unas notables ventajas en pequeñas instalaciones remotas donde el mantenimiento sea costoso, o en instalaciones de tipo doméstico, donde habitualmente el número de paneles solares utilizados no es excesivo.



Fig. 16: MF Autoregulado y MF Regulado
Fuente: http://www.agrocenter.com.ar/paneles_solares.html

2.4.3.4 Inversor o convertidor de voltaje:

Existen casos en que el cliente desea usar cargas (aparatos, equipos) convencionales. Aunque ésta no es siempre la mejor opción desde el punto de vista de la eficiencia energética, implica que la salida de un SFD sea cambiada de bajo voltaje (12V ó 24V DC) a 220V AC, 50 ó 60 Hertz.

- Convertidores continua-continua.

Existen algunas aplicaciones en las que es preciso alimentar eléctricamente varios equipos, dándose el caso de no poder hacer coincidir las tensiones de funcionamiento.

Para esos casos el uso de un convertidor continua-continua (cc/cc) se hace totalmente imprescindible, ya que sería una mala solución el tomar tensiones parciales del grupo de baterías, pues generaría pasos de corriente entre elementos que no favorecerían la vida de éstos. En la figura vemos un caso típico de grupo solar 24V con una salida de 12 V.



Fig. 17: Convertidor continua-continua
Fuente: <http://electronicaavanzada.blogspot.com/>

Mediante el uso de convertidores cc/cc la descarga de la batería se hace por igual, a la vez que se consigue, en el equipo que usa el convertidor, una tensión totalmente estable que favorecerá el perfecto funcionamiento de éste.

En un convertidor cc/cc la corriente continua es transformada a corriente alterna mediante el uso de un inversor, y una vez que este cambio está realizado, elevamos o reducimos su voltaje mediante un transformador hasta el valor adecuado, para volver a convertir a corriente continua. De esta forma conseguimos la tensión adecuada, con la ventaja del aislamiento galvánico que nos produce el transformador.

Hemos de tener en cuenta que en todo cálculo que realicemos con convertidores cc/cc, hay que aumentar las pérdidas por rendimiento del propio equipo convertidor para evitar quedarnos cortos en el cálculo del consumo.

- Convertidores continua-alterna.

Los convertidores continua-alterna, llamados *inversores u onduladores*, son dispositivos que convierten la corriente continua de una batería en corriente alterna. Un convertidor cc/ca consta de un circuito electrónico, realizado con transistores o tiristores, que trocea la corriente continua, alternándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser ya utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, obteniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien, si se filtra, obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica.

Para muchas aplicaciones en energía solar, es suficiente utilizar convertidores de onda cuadrada, pues las cargas no son especialmente sofisticadas (luces incandescentes, pequeños motores, etc.) y presentan habitualmente un rendimiento más elevado, ya que al no existir filtro, las pérdidas son más pequeñas. Si utilizamos convertidores cc/ca, debemos reflejar en los cálculos el rendimiento de este equipo y tener además muy en cuenta que el mismo puede disminuir a medida que utilizamos menos potencia de la nominal del equipo inversor.

Por ejemplo, un convertidor de 1000 W que tenga un rendimiento (h) del 90% significa que, si nosotros sacamos de ese equipo los 1000 W, él absorberá a la batería 1111 W, pues:

$$h = \text{Potencia de salida} / \text{Potencia de entrada}$$

Entonces:

$$\text{Potencia de entrada} = \text{Potencia de salida} / h = 1000 \text{ W} / 0.9 = 1111 \text{ W}$$

Ahora bien, si no exigimos del convertidor los 1000 W, sino que nuestra utilización se limita a 500 W, el rendimiento puede ser más bajo, ya que el consumo interior del equipo sería prácticamente el mismo. El valor de este rendimiento se debe buscar en los datos proporcionados por el fabricante, pues en muchas de las aplicaciones el consumo nominal del equipo será variable, por lo que tendremos que promediar este valor aproximándonos al rendimiento medio de las diferentes potencias consumidas.



Fig. 18: Convertidor de tensión de 12 V continua a 220 V alterna
Fuente: <http://www.sonicolor.es/>

2.4.3.5 Acumuladores o baterías:

La misión principal del acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico consiste en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del panel en ese preciso momento. Cumple, por otra parte, una misión de fiabilidad, ya que también tiene la función de poder alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a las condiciones meteorológicas adversas.

El acumulador o batería es un dispositivo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, y se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa. Al acumulador que ha de ser usado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- Fácil transporte e instalación.

- Baja auto descarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

Tipos de acumuladores o baterías:

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la siguiente tabla podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

Cuadro. 05: Principales tipos de baterías que hay en el mercado.

Fuente: <http://www.bureaubaterias.com/>

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fundamentalmente, existen dos tipos de acumuladores idóneos para aplicaciones solares: los estacionarios de plomo-antimonio (Pb-Sb) y los de plomo-calcio (Pb-Ca). Los primeros se encuadran dentro del tipo de ciclo profundo, por lo que deben ser usados en aquellas aplicaciones en que la descarga pueda llegar a límites bajos de una forma obligatoria y, en general, donde el ciclo diario supere el 15% de la capacidad de la batería. No obstante, ofrecen un buen funcionamiento en todos los casos, presentan una vida elevada y en algunos modelos se incorpora una gran reserva de electrolito que hace su mantenimiento menos constante.

Otro tipo de acumulador solar es el constituido por una aleación en las placas de Pb-Ca. Estos acumuladores presentan en algunos de sus modelos la ventaja de no tener mantenimiento, hecho que es particularmente importante en aquellas instalaciones remotas o de difícil acceso. A diferencia de los estacionarios, que se presentan generalmente en elementos de 2 V, los de Pb-Ca suelen construirse en tipo monobloc de 12V y con unas capacidades máximas de 150Ah (a 100 h), lo que los hacen interesantes para pequeñas

instalaciones donde el ciclo de descarga diario no supere el 10% y, en emergencias, el 50% como máximo.

Resumiendo, se puede decir que las baterías fotovoltaicas cuya aplicación se destine a descargas profundas deben ser, sin lugar a dudas, del tipo estacionario, al igual que en aquellos otros casos donde la capacidad se a elevada, pues si dispusiéramos una gran cantidad de pequeñas baterías disminuiríamos excesivamente la fiabilidad del conjunto. Por el contrario, si la instalación fotovoltaica es de pequeña dimensión o bien el mantenimiento es muy difícil, no sólo en el coste si no en facilidades de acceso, la decisión se decantaría hacia las baterías sin mantenimiento, cuidando siempre de que las descargas no sean excesivamente profundas para evitar el envejecimiento prematuro del acumulador.

Carga del acumulador.

Todas las baterías están compuestas por elementos de 2V nominales y una capacidad que dependerá del modelo y tipo de placas utilizadas. Después de su fabricación se venderán comercialmente como elementos sueltos para interconexionar entre sí, o bien ya conectados y presentados como un bloque, en tensiones de 12 ó 24V normalmente.

En un elemento de plomo-ácido la tensión varía según el estado de carga, el peso específico del electrolito y, desde luego, según esté sufriendo una carga o una descarga. El voltaje de circuito abierto en una batería cargada es de 2.14 V a 25°C y el peso específico de electrolito, de 1300.

Dado que todas las baterías sufren una autodescarga, necesitan una pequeña corriente de mantenimiento para conservarlas completamente cargadas incluso cuando no están trabajando. En la práctica esta corriente es suministrada por el panel, siendo el voltaje de alimentación de unos 0,2 V por encima del voltaje de circuito abierto del elemento acumulador. En definitiva, se necesita una *tensión de flotación* de 2.34 V para mantenerla completamente cargada. Un elemento que ha sido descargado puede llegar a un estado de plena carga con la tensión mencionada anteriormente, pero tardaría bastante tiempo. Por lo tanto, para hacer que una batería cargue más rápidamente se necesitará un voltaje de carga mayor, que oscilará entre los 2.60 y 2.65V /elemento, siendo el tiempo empleado función de la intensidad que se le pueda proporcionar.



Fig.19: Tipos de baterías usadas en instalaciones fotovoltaicas: a) Plomo- acido. b) Gel c) AGM

Fuente: <http://www.solarweb.net/>

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

3.1 Diseño de Investigación:

3.1.1 Área de estudio:

El estudio se realizó en la Región Piura, en 7 provincias: Piura, Huancabamba, Sechura, Talara, Paita, Ayabaca y Morropón. La región Piura es una circunscripción regional del Perú situada en la parte noroeste del país, en la Costa norte.

Limita con Tumbes y el Ecuador por el norte, con Lambayeque por el sur, con Cajamarca por el este y con el Océano Pacífico por el oeste. Piura se encuentra ubicada próxima a la línea ecuatorial, a unos 4° 4' 50" por debajo de ésta.

3.1.2 Lugares de monitoreo:

En 7 de las 8 provincias de Piura se encuentran instaladas Estaciones Meteorológicas automáticas de la Marca NRG SYSTEMS y Campbell, las cuales conforman la Red NIÑO5, ésta red permite el seguimiento del clima en la Región Piura. El cuadro 6 se presenta los datos de ubicaciones de las estaciones meteorológicas cuyos datos fueron usados en el presente estudio.

Cuadro 06: Ubicación, marca, latitud, longitud y altura a la que se encuentran ubicadas, cada una de las estaciones meteorológicas usadas para el presente estudio.

Piura:	Morropón
<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Universidad de Piura - Marca de Estación: NRG Systems 	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Morropón

<ul style="list-style-type: none"> - Latitud: 05° 10' 14" S. - Longitud: 80° 38' 18.6" W. - Altura: 45 m.s.n.m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Marca de Estación: NRG Systems - Latitud: 5°11'22.57"S - Longitud: 79°58'1.23"O - Altura: 132 m.s.n.m.
<p style="text-align: center;">Paita</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Colán - Paita - Marca: Campbell - Latitud: 05° 0'25.33"S - Longitud: 81° 3'24.06"O - Altura: 11 m.s.n.m. 	<p style="text-align: center;">Sechura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Bayóvar - Marca de Estación: NRG Systems - Latitud: 5°47'55.34"S - Longitud: 81° 3'57.51"O - Altura: 147 m.s.n.m.
<p style="text-align: center;">Huancabamba</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Huancabamba - Marca de Estación: NRG Systems - Latitud: 05° 14' 54.7 S" - Longitud: 79° 27' 16.4 O" - Altura: 2000 m.s.n.m. 	<p style="text-align: center;">Talara</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ubicación: Negritos - Marca de Estación: NRG Systems - Latitud: 04° 40' 11.70" - Longitud: 81° 19' 38.00" - Altura: 18 m.s.n.m.

En la **Fig. 20** se observa una estación meteorológica automática de la marca NRG Systems que posee una serie de sensores que permiten en monitoreo de los diferentes parámetros ambientales, dentro de los sensores presentes en esta estación tenemos: Termohigrómetro (mide temperatura y humedad), anemómetro y veleta (mide velocidad y dirección del viento), barómetro (mide la presión atmosférica) y finalmente el logger o registrador de datos.



Figura 20: Estación Meteorológica NRG Systems en la Universidad de Piura (UDEP).
Fuente: Imagen propia.

3.1.3 Adquisición y procesamiento de datos:

3.1.3.1 Adquisición de datos:

El presente estudio consideró un periodo de adquisición de datos por un periodo de alrededor de tres años. Los datos están comprendidos desde Enero del 2012 hasta Diciembre 2014. La toma de datos de radiación solar que es la variable de interés para nuestro estudio, se realizó a través de instrumentos de medición adecuados y especializados como son los piranómetros. Estos instrumentos forman parte de los sensores instalados en cada una de las estaciones antes mencionadas. La finalidad de la adquisición de datos de la radiación en cada uno de los lugares antes mencionados y a diferente altitud es determinar el potencial de energía solar y su variación espacio temporal de la Región Piura. En la figura 21 se muestra un modelo de piranómetro, marca LICOR, usados para la medición



Fig. 21: Piranómetro: Sensor usado para medir radiación solar.

Fuente: <http://www.renewableenrgsystems.com/>

3.1.3.2 Procesamiento de datos:

Toda esta información recolectada fue procesada en forma inicial con el “software” Symphony Data Retriever.

Procesamiento primario de la data recolectada

Los datos de radiación solar tomados en los diferentes puntos de monitoreo fueron tomados en tiempo real cada 2 segundos por los instrumentos de medición y enviados aun “data logger” (registrador de datos).

Este Data logger tuvo la función de promediar las mediciones cada 10 minutos, almacenar esta información en una memoria propia disponible, y posteriormente enviar la a manera de informe vía correo electrónico a una PC de manera diaria. La hora de entrega de dicho envío, fue programada para que el registrador envíe la información correspondiente a las 06:00 horas. Los “data loggers” (fabricados por “NRG Systems”) usados para el presente estudio permitieron la visualización de los datos obtenidos, a través del “software” “Symphonie Data Retriever”(SDR).

El SDR hace uso directo de archivos **.rwd** conocidos como “rawdata” (**data raíz**). Este tipo de file es generado por los “dataloggers” y enviado posteriormente a la PC destinada. La “rawdata” es llamada también **data cruda**, por ser directamente adquirida del emplazamiento objeto de estudio.

Este “software” permite definir parámetros de la localidad (latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar, etc.) así como parámetros de los instrumentos de medición (altura sobre el terreno, factor de escala, precisión, etc.). Todos estos datos pasan a formar parte de los archivos “rawdata” para ser procesados posteriormente. Además permite visualizar la data diaria que llega al ordenador destinado permitiendo al usuario detectar información faltante o desperfectos en algún instrumento, en el caso por ejemplo que para dos anemómetros a la misma altura se tengan lecturas muy diferentes,

y con esto tomar medidas prontas y adecuadas para la solución de dichos inconvenientes.

Se pueden generar algunos resultados útiles para un estudio de potencial eólico tales como: rosas de viento, distribuciones de frecuencia, tablas y gráficos de promedios horarios, reportes resumen y reportes de calidad de data. Sin embargo, el SDR tiene dos grandes desventajas de cara a la realización de un análisis completo de los datos brindados por los “dataloggers”: No es posible mejorar la calidad de la data obtenida y no proporciona ningún resultado directo de potencia disponible en el lugar objeto de estudio.

La información recolectada de las estaciones meteorológicas NRG fue procesada por el “software” Symphonie Data Retriever. En el caso de la data recolectada de las estaciones Campbell fue procesada en Excel.

Los datos de radiación solar de las diferentes provincias fueron tomadas en tiempo real por los piranómetros y almacenados a un “data logger”. Este equipo se encargó de promediar las mediciones cada 10 minutos.



Fig. 22: Data Logger (Estaciones NRG Systems)

Fuente: <http://www.renewablenrgsystems.com/>

Este “software” permite definir parámetros de la localidad (latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar, etc.) así como parámetros de los instrumentos de medición (altura sobre el terreno, factor de escala, precisión, etc.).

Gráfico 03: Ventana para definir: latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar de la Estación NRG - Morropón.

Fuente: Elaboración propia

Site Information		Sensor Information	
Site #	4531	Channel #	10
Site Desc	NRG - Moropón	As of	Baseline
Project Code	ENSOS5	Description	Pyranometer W/m2
Project Desc	102-FINCYT-EQUIP-2009	Details	
Site Location	Moropón	Serial Number	
Site Elevation	132 m	Height	8 m
Base Time Zone	(UTC-05:00) Indiana (este)	Scale Factor	1,32
Latitude	W 005° 11.375'	Offset	0
Longitude	W 079° 58.018'	Print Precision	0,1
Serial Number (5-digit suffix)	04531	Units	W/m2
Hardware Rev.	023-022-000		
<input type="checkbox"/> Encryption Code: 0000		<input type="button" value="Notes"/>	
<input type="button" value="History"/> <input type="button" value="Delete"/> <input type="button" value="Make New Change"/>			

La información es almacenada en una memoria la cual se encuentra en el interior del Data logger. Posteriormente esta información será enviada vía mensaje de texto usando la Red telefónica CLARO, a manera de un correo electrónico a una PC diariamente.

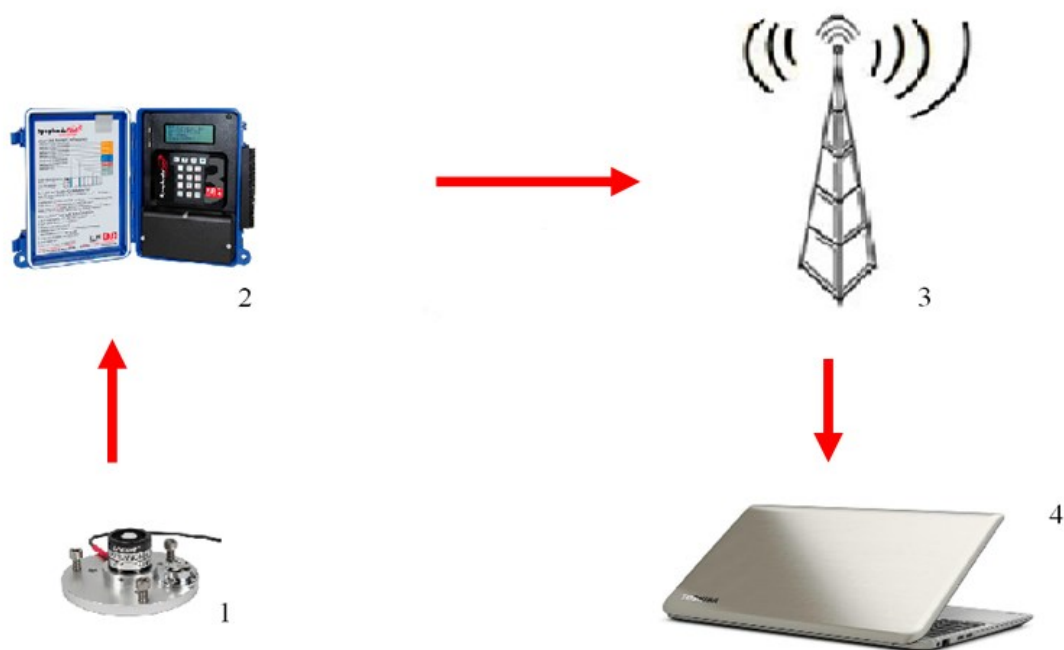


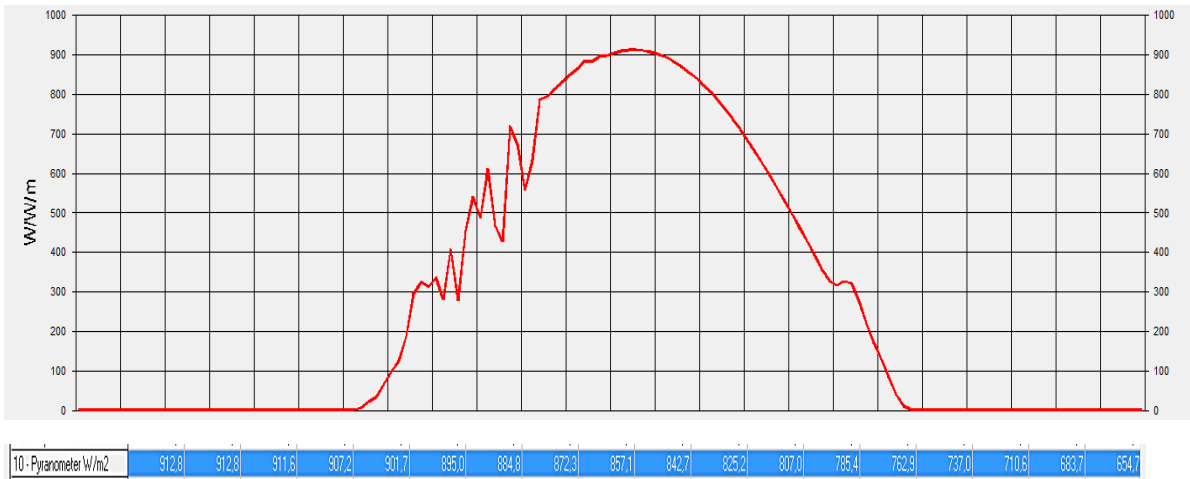
Fig. 23: Flujograma de trasmisión de datos desde el piranómetro hasta la llegada a un correo electrónico.

Fuente: Elaboración propia

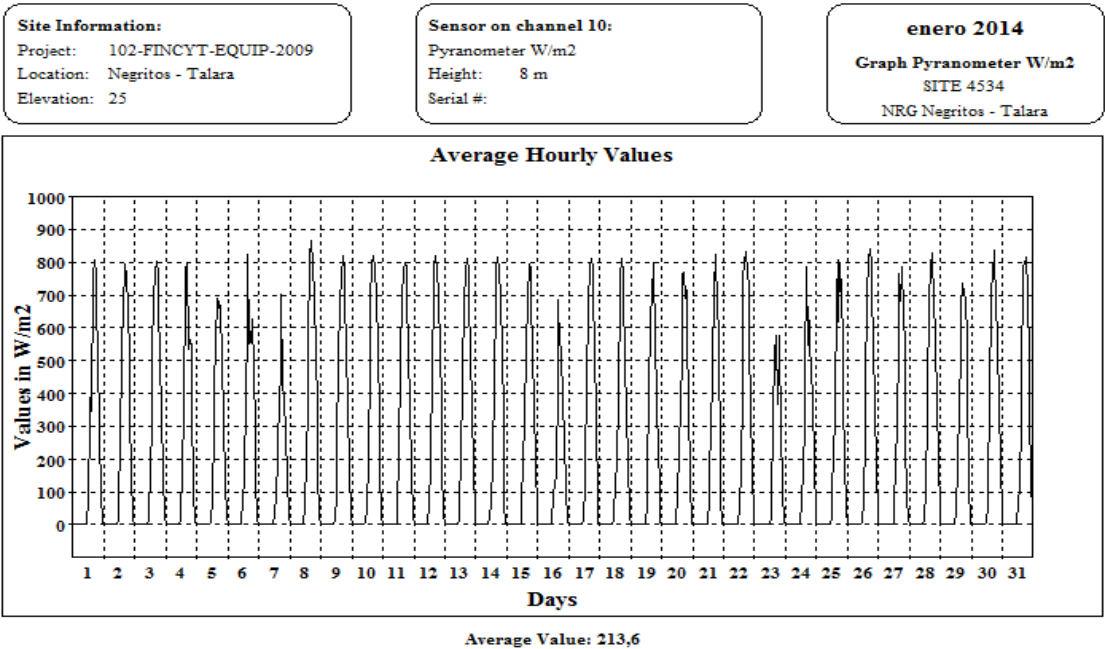
La hora de entrega de dicha información está programada para las 06:00 horas. Los archivos generados y almacenados en los “data loggers que serán usados para la presente investigación, permiten la visualización de los datos obtenidos, a través del “software” “Symphonie Data Retriever”(SDR).

Este programa genera resultados útiles para el presente estudio como tablas y gráficos de promedios horarios y reportes mensuales, para cada uno de los lugares de muestreo.

Gráfica 04: Radiación diaria (01/01/2014 Bayóvar - Sechura)
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 05: Radiación mensual (Enero 2014 Negritos - Talara)
Fuente: Elaboración propia



CAPITULO IV

RESULTADOS:

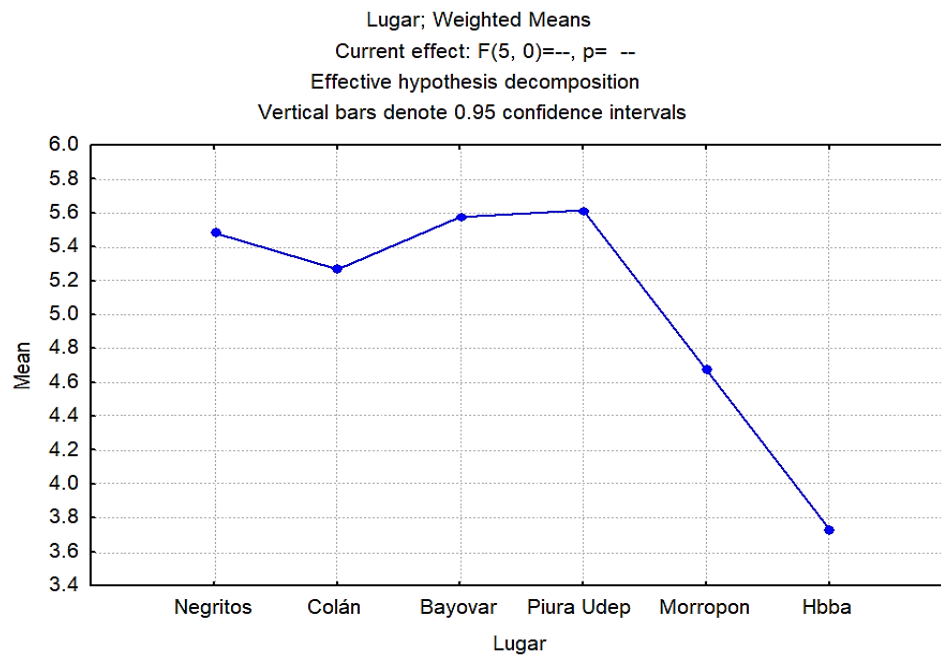


Gráfico 06: Valores promedio de radiación solar (KW/m^2) en los lugares de muestreo.

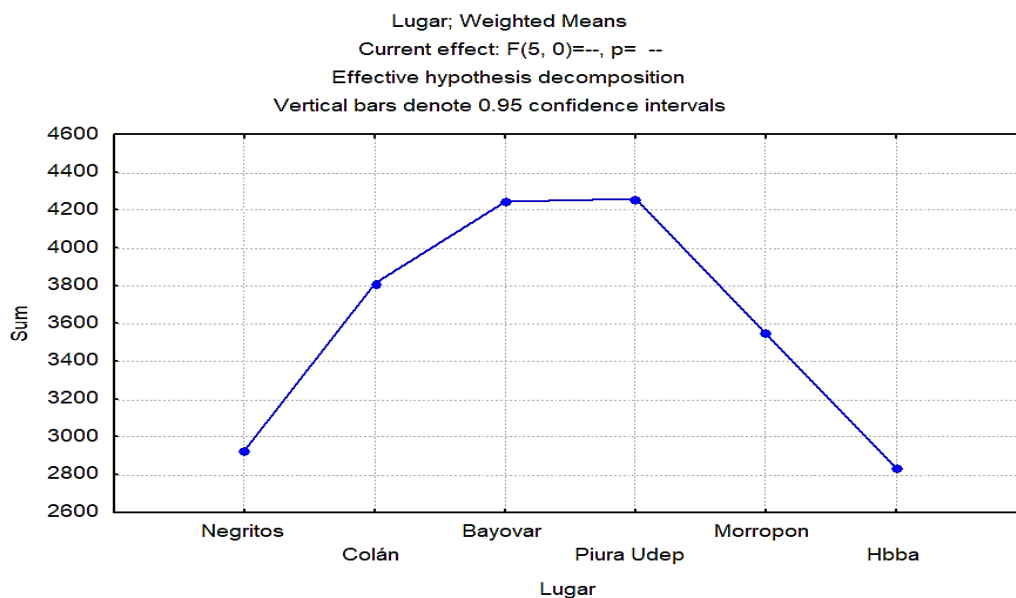


Gráfico 07: Valores acumulados de radiación solar (KW/m²) en el año 2014 en los lugares de muestreo.

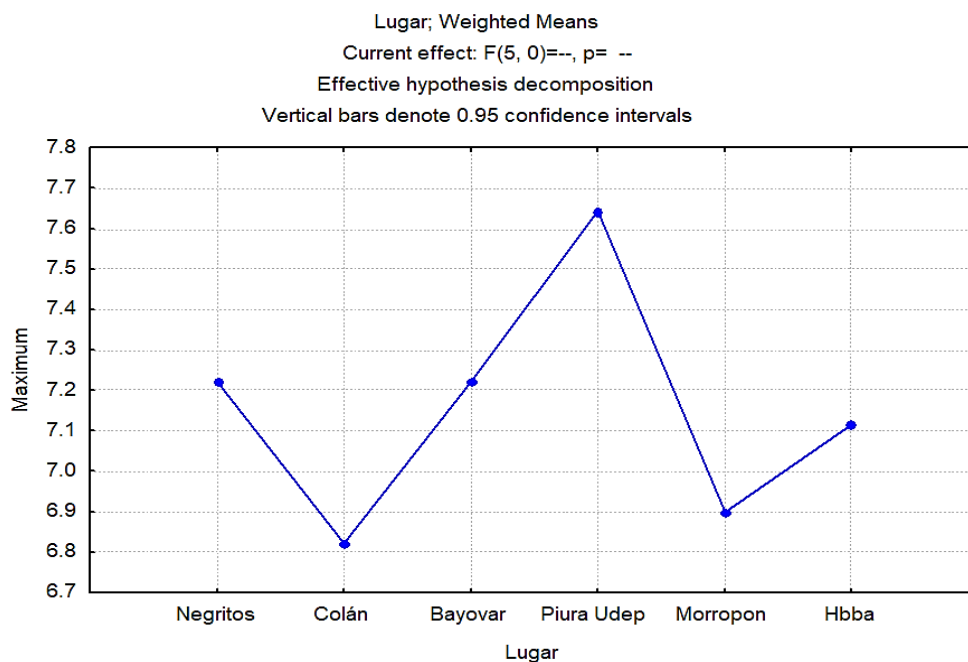


Gráfico 08: Valores máximos de radiación solar (KW/m²) en los lugares de muestreo.

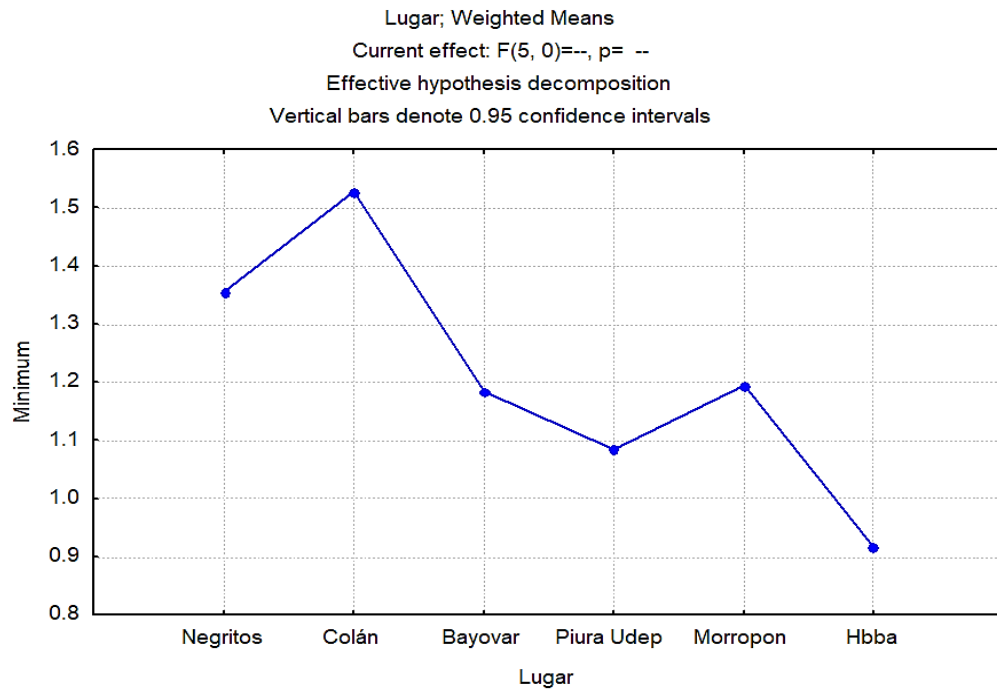


Gráfico 09: Valores mínimos de radiación solar (KW/m^2) en los lugares de muestreo.

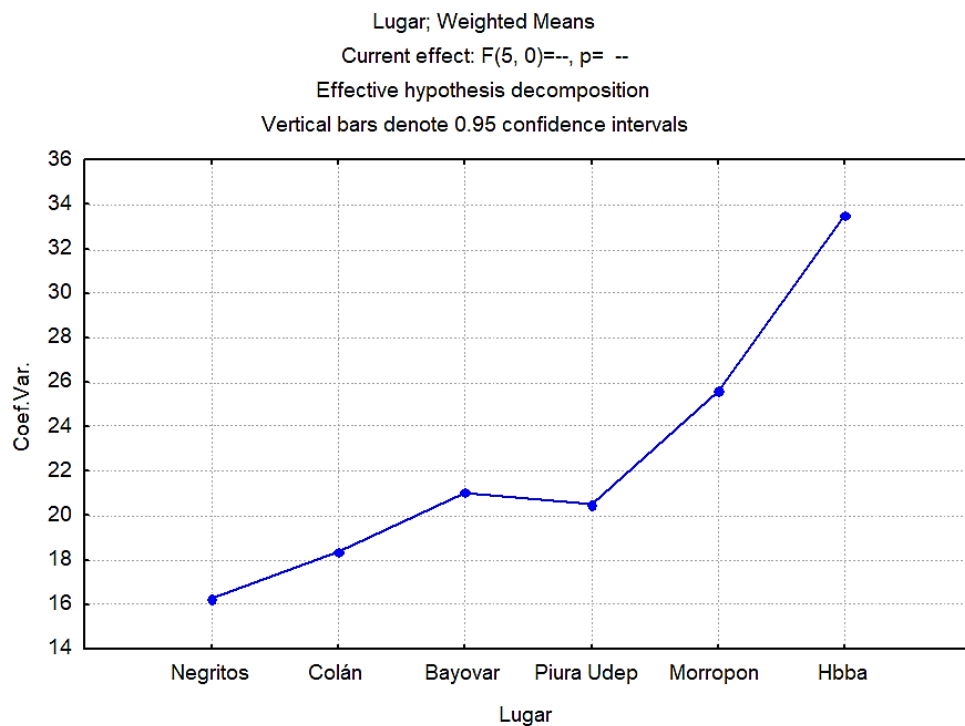


Gráfico 10: Coeficiente de variación de los datos de radiación solar (W/m^2) en el año 2014 en los lugares de muestreo

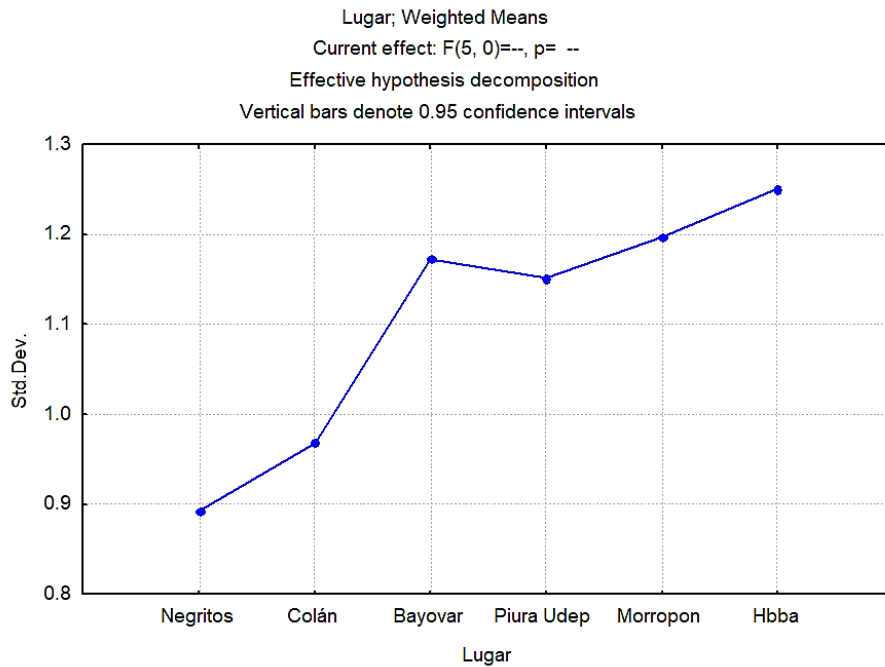


Gráfico 11: Desviación Estándar de los datos de radiación solar (W/m^2) en el año 2014 en los lugares de muestreo

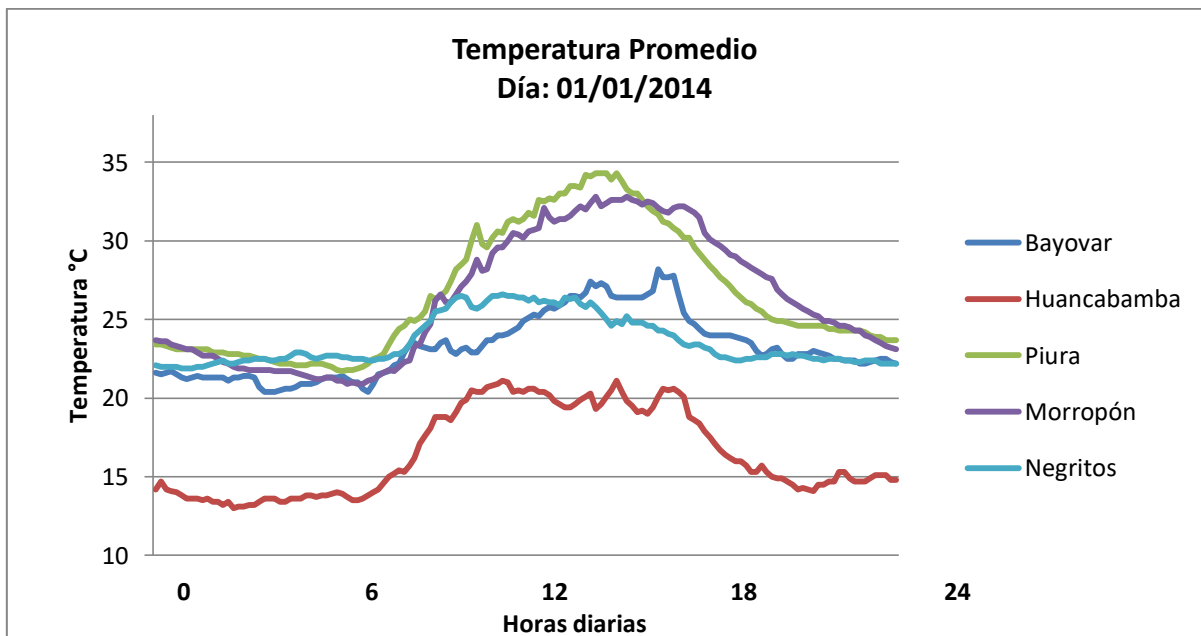


Gráfico 12: Temperatura Promedio en ($^{\circ}\text{C}$) del día 01/01/2014

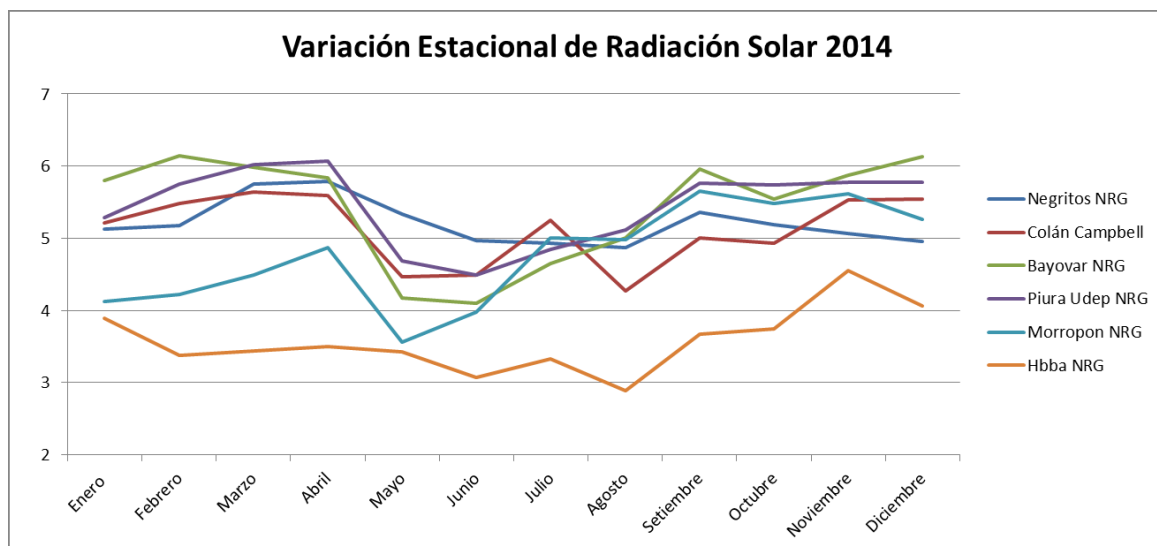


Gráfico 13: Variación estacional de Radiación Solar (KW/m^2) en los lugares de muestreo.

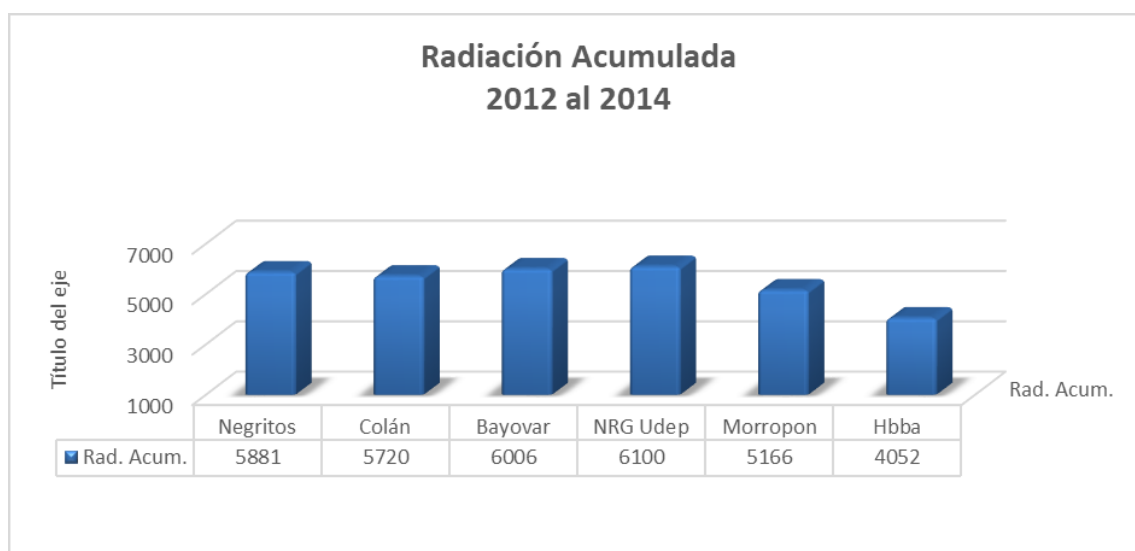


Gráfico 14: Valores de radiación Acumulada (KW/m^2) en los lugares de muestreo desde el 2012 al 2014.

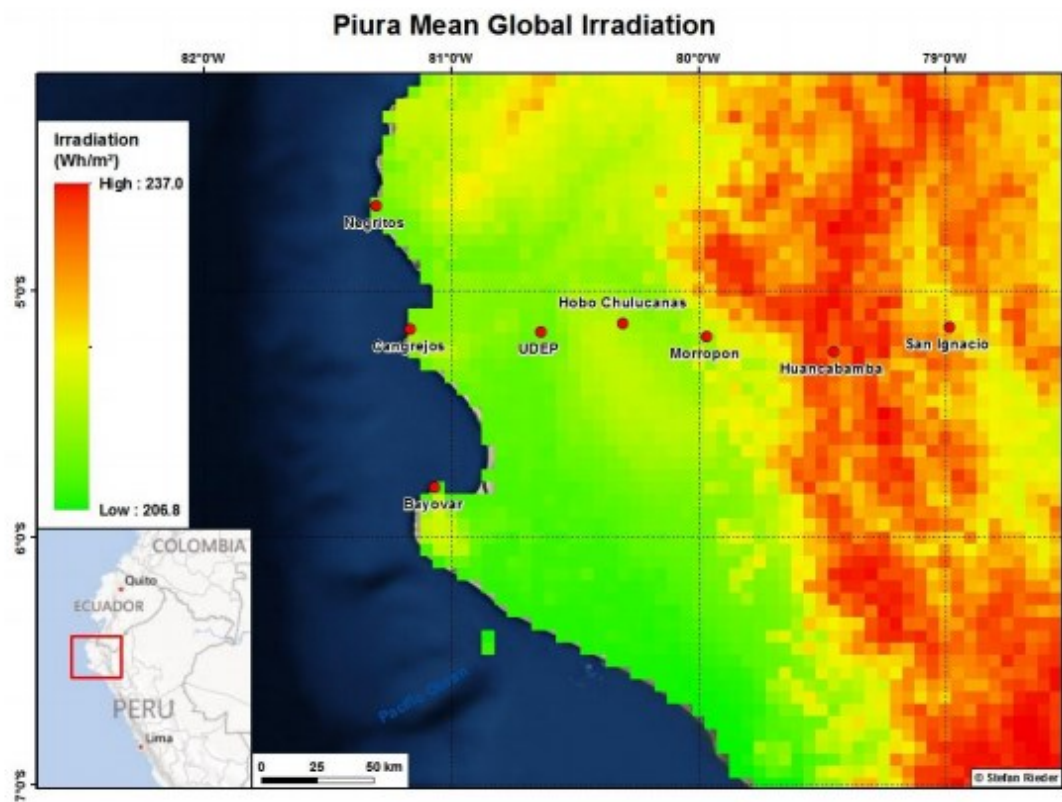


Figura 24: Promedio de Irradiación solar en la Región Piura. (KWh/m^2)
Cortesía: Rütger Rollenbeck

Lugar	Valid N	Mean	Sum	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Coef.Var.
Negritos	1096	5.366236	5881.394	1.355267	7.220383	0.759092	0.871259	16.23594
Colán	1096	5.219358	5720.417	1.527372	6.873037	0.938803	0.968919	18.56394
Bayovar	1096	5.479987	6006.065	1.183000	7.208017	1.430111	1.195872	21.82254
NRG Udep	1094	5.576065	6100.216	1.084750	8.109217	1.299997	1.140174	20.44765
Morropon	1094	4.722492	5166.406	1.194317	7.175500	1.417918	1.190763	25.21473
Hbba	1094	3.703809	4051.967	0.915683	7.116683	1.557949	1.248178	33.69986

Cuadro 07: Datos estadísticos de radiación (KW/m²) en los lugares muestreados desde el 2012 al 2014.

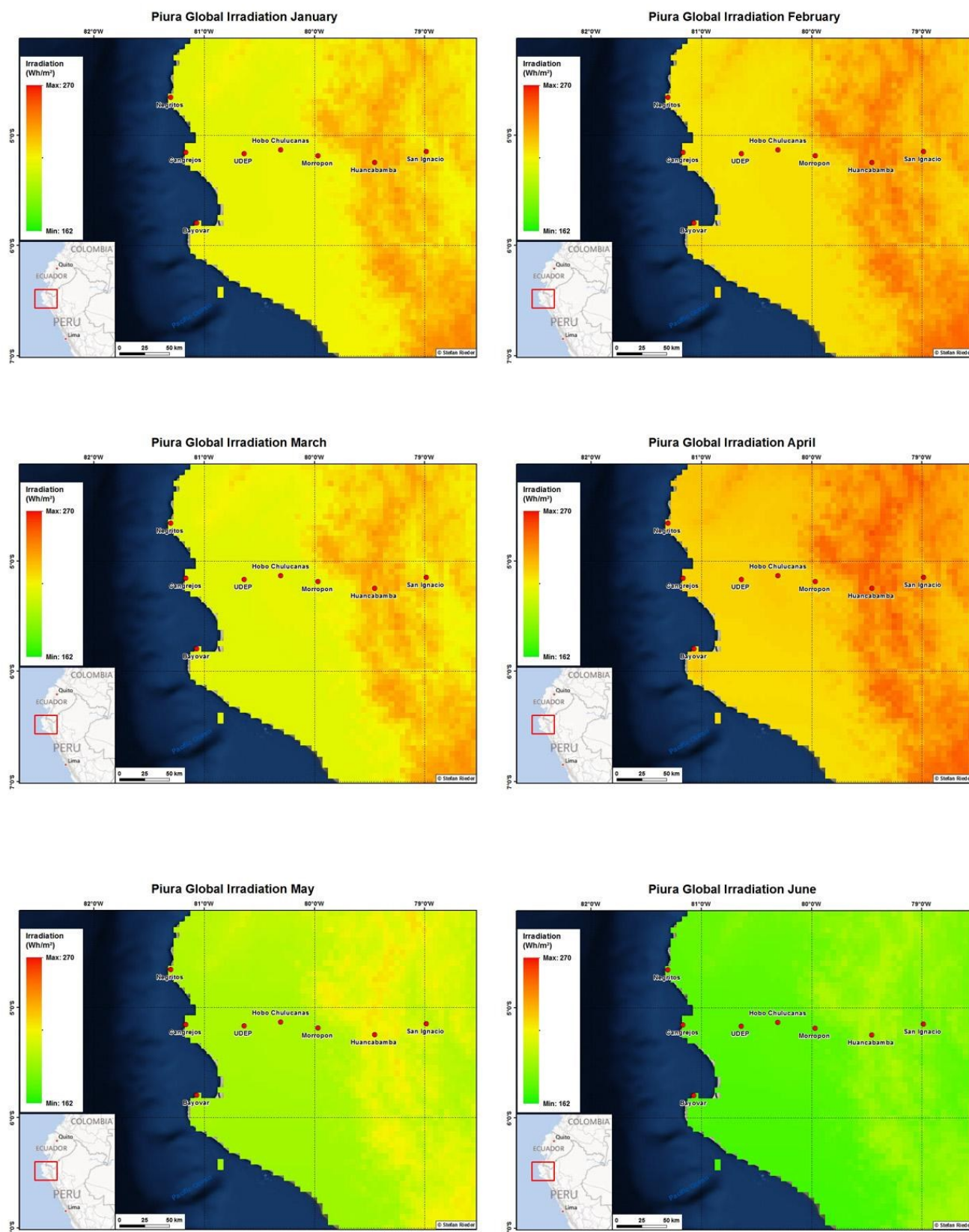


Fig. 25: Radiación global Mensual (enero - junio) de la Region Piura (en Wh/m^2). Max: 270 Wh/m^2 , Min: 162 Wh/m^2 . Cortesía de Stefan Rieder (2016)

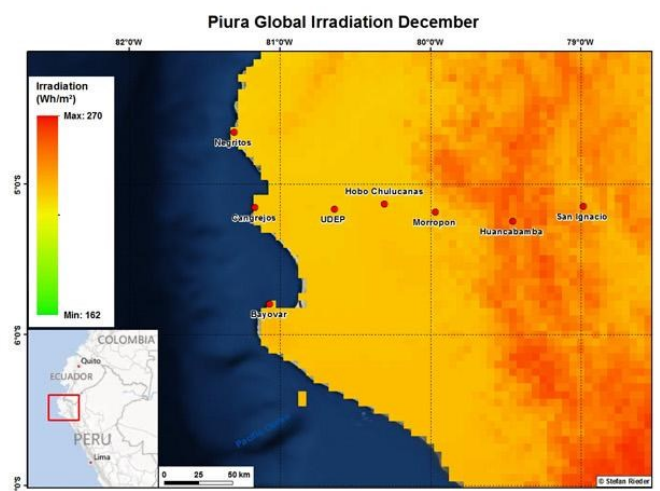
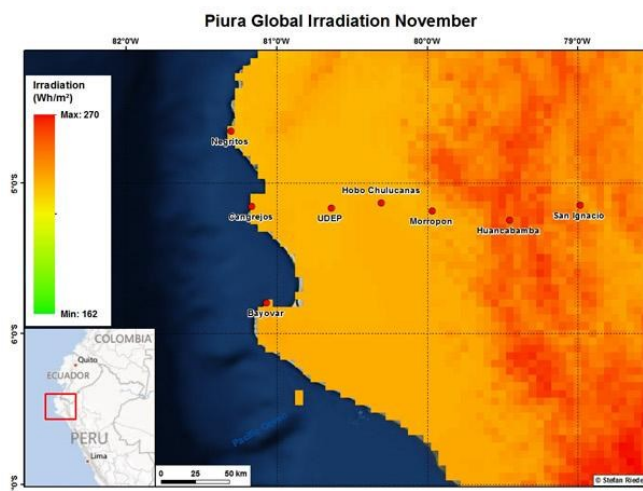
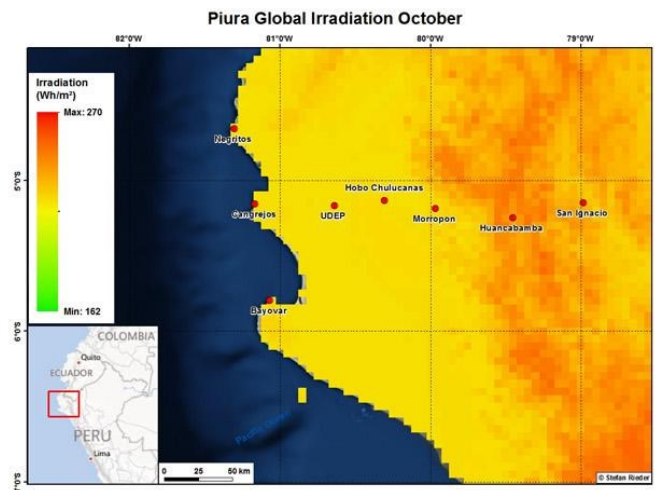
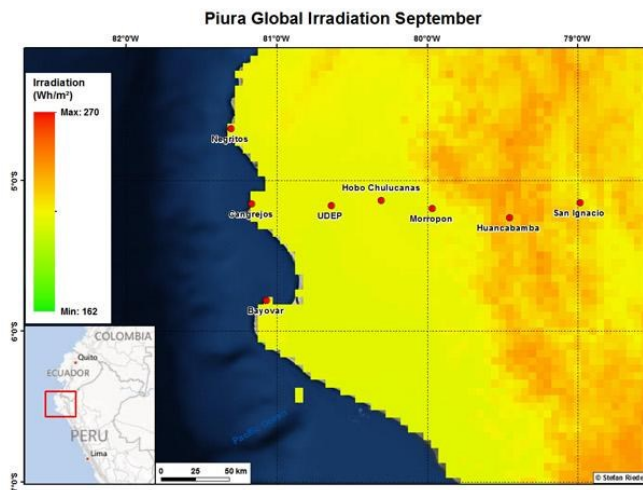
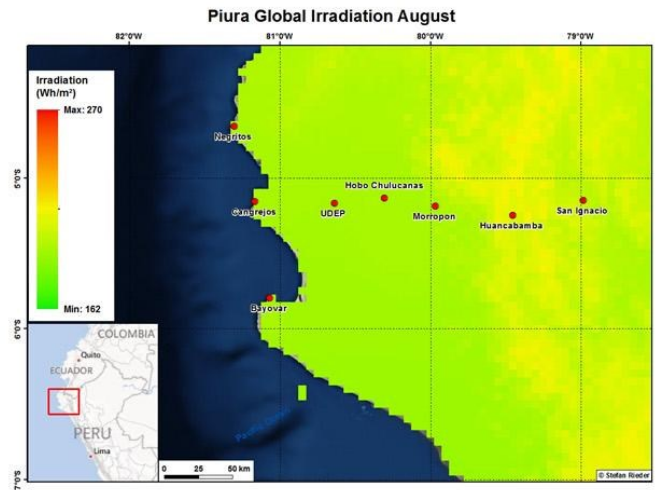
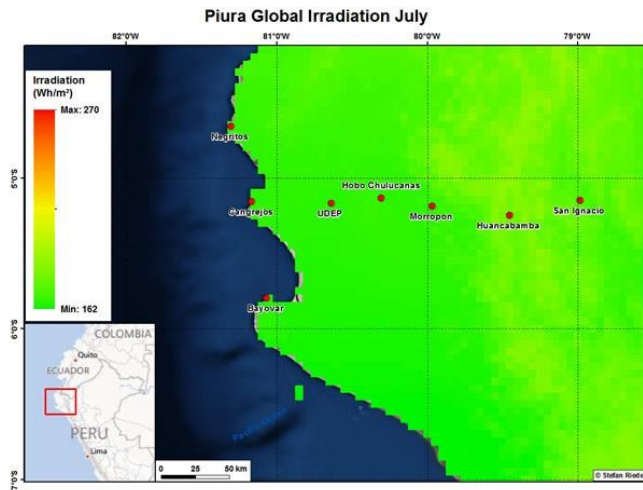


Fig. 26: Radiación global Mensual (julio - diciembre) de la Region Piura (in Wh/m²). Max: 270 Wh/m², Min: 162 Wh/m². Cortesía de Stefan Rieder (2016)

CAPITULO V

DISCUSIÓN:

- **Energía Solar en el Mundo:** La energía fotovoltaica empieza a ser competitiva a nivel de costes, especialmente en el cinturón solar, que comprende los países con más horas de sol. En todo el mundo, sólo un 1,3% de la energía que se consume es fotovoltaica, según el informe Photovoltaics Report , publicado en 2017 por el Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar ISE de Freiburg (Alemania). En Alemania, país líder en esta tecnología, junto con Italia y Grecia, prácticamente un 7% de la energía consumida es de origen fotovoltaico.
- En un estudio publicado en el año 2015 por la Asociación de la Industria Solar Fotovoltaica Europea (EPIA, por sus siglas en inglés), se reporta que los países ubicados geográficamente dentro del llamado Cinturón Solar Global (CSG) entre las latitudes de $\pm 35^\circ$ respecto al Ecuador, tienen un potencial solar que aún no ha sido eficazmente utilizado. En total son 46 los países que la integran y los beneficios que pueden obtener son diversos en materia energética. En este sentido, Amelio (2011) señala que los países delimitados en el CSG representan, aproximadamente el 75% de la población mundial y el 40% de la demanda global de electricidad. No obstante, los elevados niveles de radiación solar, la capacidad instalada en éstos representa apenas el 9% a nivel internacional. De los países que forman el cinturón solar de la Tierra, estos 5 son líderes: China, Singapur, México, Australia e India. Curiosamente, los países que más han invertido en generar energía solar son naciones que no necesariamente cuentan con recursos desbordantes de este tipo, tales como Alemania, España o Italia.
- **Energía Solar en América Latina:** La energía solar cobra dinamismo en América Latina. Si bien ahora dominan el viento y la bioenergía entre las renovables, hay claros indicios de que también la fotovoltaica desempeñará en el futuro un importante papel. Hasta ahora, la producción de energía solar ha sido rentable a nivel mundial solo con subvenciones estatales. Pero los precios de los módulos solares han caído drásticamente en los últimos años. Sobre todo en China se construyen enormes fábricas de paneles solares. Desde 2006 a hoy, el precio de las instalaciones solares se ha reducido en un 60%. Una de las consecuencias de ello es que el año pasado la potencia solar instalada a nivel mundial aumentó un 40%. Buenas condiciones para el desarrollo de la energía fotovoltaica existen también en América Latina, una región con gran radiación solar.
- Las áreas costeras de Perú y Chile pertenecen a las regiones continentales con la mayor entrada de radiación en el mundo (Escobar et al 2014). Debido al tamaño relativamente pequeño de esta franja costera, este hecho no se toma en cuenta con frecuencia en los modelos de radiación global. Al mismo tiempo, especialmente Perú sufre de una falta de suministro eléctrico adecuado en muchas regiones rurales. Según las cifras de (GIZ 2012), aproximadamente un tercio de la población utiliza el recurso escaso de leña para cocinar. Aproximadamente el 10% de los 30 millones de habitantes de Perú no tienen acceso a la energía eléctrica y están obligados a usar petróleo caro y perjudicial. Lámparas y velas para la iluminación. Hay alrededor de 98000 pueblos y granjas sin conexión a la red eléctrica. Los altos costos de esas conexiones hacen que no sean rentables para las empresas privadas de servicios públicos (GIZ 2012).
- Al aprovechar el alto potencial de la energía solar, Perú podría abordar estos problemas, pero se requiere una base científica sólida para superar los prejuicios tradicionales y la reserva cultural que obstaculiza el desarrollo de las energías renovables en el país. Para

asignar recursos se necesita un conocimiento detallado de las características espacio-temporales de la radiación solar.

- Los países con más radiación solar promedio anual son México, Brasil, Chile y Perú. Pero también en el resto de la región, salvo las zonas más meridionales, puede aprovecharse la energía del sol, sobre tanto en forma de módulos de techo como de grandes plantas solares, estas sobre todo en los desiertos cerca de la costa del Pacífico y en el nordeste de Brasil.

México:

El mercado solar mexicano se ha desarrollado hasta ahora sobre todo en forma de instalaciones no conectadas a red para la electrificación rural y equipos solartérmicos para la generación de agua caliente. Pero como el país posee un rico potencial también para grandes plantas fotovoltaicas, comienza a orientarse asimismo en ese sentido. En 2013 inauguró la primera planta solartérmica en Sonora, el proyecto Agua Prieta II. Su construcción demandó una inversión de 252 millones de dólares y tiene una capacidad de 650 megavatios.

Si bien Brasil ha apostado hasta ahora por otras formas de energías regenerativas, la realización de varios proyectos permite augurar una revitalización del mercado. La empresa Solaria Brasil está trabajando en la construcción de una central fotovoltaica de 3 megavatios pico en el estado de Minas Gerais. El gobierno en el marco del programa social “Mi casa, mi vida”, prevé la construcción de dos millones de viviendas en los próximos años. El país está estudiando también la creación de mecanismos de fomento de la energía fotovoltaica.

En Chile, la técnica fotovoltaica fue introducida ya en los años 90 en el marco de programas de electrificación rural. En el área de la generación eléctrica a gran escala se han creado en los últimos años nuevas condiciones marco legales y económica para su desarrollo. El norte de Chile es la región con la mayor radiación solar del mundo. El proyecto actual más interesante es Calama Solar 3, una cooperación entre la empresa Solarpack y el productor estatal de cobre CODELCO. Se espera que la instalación produzca, debido a la alta radiación solar, en total 2,69 gigavatios anuales.

Energía Solar en el Perú: La empresa Sanjosé Constructora ha comenzado el desarrollo de un parque fotovoltaico de 20 MW en el Alto de la Alianza, región de Tacna, que será el primero en el país con entrega a red. Está planeado que la planta comience a generar energía a fines de este año, produciendo 45 GW/año, gracias a su excelente ubicación en una zona de intensa radiación solar. Sus 80.000 paneles solares fotovoltaicos generarán una potencia de 22 megavatios pico. La superficie construida del proyecto superará los 60.000 metros cuadrados. Distribución anual: A nivel anual, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kW h/m²

Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre 5,5 a 6,0 kW h/m² son la costa norte (3 a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2 500 msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte. La zona de bajos valores de energía solar en el territorio es la selva, donde se registran valores de 4,5 a 5,0 kW h/m² con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S). Asimismo, es importante acotar que la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte.

Distribución estacional: Durante el verano austral (diciembre a marzo) el sol se encuentra irradiando el hemisferio sur con mayor intensidad, sin embargo, este hecho no se traduce en

los mapas, especialmente en la parte norte y central de la sierra y selva (0 a 10° S y 70 a 79° W), las mismas que presentan valores relativamente bajos de energía solar, no obstante la considerable altitud de las zonas montañosas que determinan una menor absorción de la irradiación al atravesar un menor espesor atmosférico. Esto se debe a la interacción de los principales controladores climáticos tales como el Sistema de Alta presión del Océano Pacífico Sur (APS), el Sistema de Alta presión del Atlántico Sur (AAS); la ZCIT muy activa en este hemisferio en estos meses, la Alta de Bolivia y la Cordillera de los Andes, determinan la llegada y/o formación en el territorio peruano de sistemas nubosos que originan las lluvias en esta época («época lluviosa»), lo que genera una sustancial disminución de la transmisividad atmosférica sobre toda esta región. Durante el invierno la energía solar recibida disminuye en general en todo el territorio debido a que el sol se encuentra irradiando más intensamente el hemisferio norte (solsticio de invierno). Este efecto estacional se puede apreciar claramente en el comportamiento de la irradiación solar extraterrestre. En primavera, el sol inicia su retorno en su marcha aparente hacia el hemisferio sur, determinando disminución de la humedad atmosférica en este hemisferio debido a que la ZCIT está situada en el hemisferio norte. Esto provoca la ausencia de nubosidad y de lluvias (condiciones de estiaje o estación seca) en la sierra norte y central por lo que la transmisividad de la atmósfera alcanza sus máximos valores, registrándose consecuentemente los valores más altos de energía solar diaria recibida en esta región (noviembre). Asimismo, la región de selva alcanza también sus mayores valores en este mes, especialmente la selva norte.

La sierra sur y parte de la sierra central muestran altos valores de energía solar, presentándose los máximos a fines de primavera y durante el verano, lo cual se debe a que se encuentra menos influenciada por los controladores climáticos que generan los sistemas nubosos como son la ZCIT y la Alta de Bolivia. La ZCIT tiene mayor dominio e influencia sobre la sierra norte y central del territorio peruano, mientras que la Alta de Bolivia, ejerce mayor influencia sobre la sierra central y sierra sur, originando y manteniendo la convección diurna y la humedad atmosférica en niveles medios en los flancos occidentales de los Andes, pudiendo incluso ser realimentada la convección entre los 5 y 8° S a lo largo de los Andes (sobre los 2 400 msnm) por las brisas de montaña o brisas marinas (Gilford et al., 1992).

Capítulo VI

Conclusiones

- La variación estacional de la Radiación solar en la Región Piura está muy relacionada con la estacionalidad, teniendo en verano un máximo de 6.48 KWh/m² en la parte costera y en invierno un mínimo de 2.6 KWh/m² (Huancabamba).
- El promedio de la Radiación solar en las provincias de Sechura, Talara, Paita, Morropón y Piura (máxima altura de 147 msnm en Sechura) es 5.34 KWh/m², pero en Huancabamba a una altitud de 2000 msnm es de 3.7 KWh/m².
- La provincia con mayor potencial para la instalación de paneles fotovoltaicos es Huancabamba donde el promedio es 3.7 Kw/m² al año y la temperatura no sobrepasa los 25 °C.
- En la Región Piura se puede usar la Radiación Solar como fuente de energía en bombas hidráulicas solares, secadores solares para café y cacao, deshidratación de frutas, sistemas de transferencia de calor en zonas de heladas, para generar energía eléctrica en poblados aislados, entre otros.

Capítulo VII

Recomendaciones y sugerencias

- Continuar las investigaciones de manera más detallada en la provincia de Huancabamba para poder usar este recurso libre y de mucho valor como es la radiación solar.
- Incentivar la Investigación en Universidades Públicas y Privadas de cómo usar un recurso tan abundante en la Región Piura ya sea generar energía fotovoltaica o para secadores solares.
- Promover charlas y capacitaciones en la instalación y uso de paneles fotovoltaicos.
- Promover el uso de la Energía Solar para contribuir al desarrollo de la Agroindustria en la Región Piura, ya que es una fuente de empleo y divisas muy importante.

CAPÍTULO VIII

Bibliografía

- Amelio, M. R. (2011). Energía fotovoltaica: Presente y futuro. Revista de Energías Renovables. ANES, AC. Número 9 Año 3 Enero-Marzo 2011.
- Annual Energy Outlook, 2013.U.S. Energy Information Administration Office of Integrated and International Energy Analysis U.S. Department of Energy Washington, DC 20585.
- Escobar, R. A., Cortés, C., Pino, A., Pereira, E. B., Martins, F. R., & Cardemil, J. M. (2014). Solar energy resource assessment in Chile: Satellite estimation and ground station measurements. Renewable Energy, 71, 324-332.
- Feynman, 1998 Volumen I: Mecánica, radiación y calor. Feynman, Leighton, Sands. Addison-Wesley Iberoamericana. USA, 1998.
- Fundación para Estudios sobre la Energía, 2010. Energías renovables para la generación de Electricidad en España.
- Gilford, M.T., M.J. Vojtesak, G. Myles, R.C. Bonam and D.L. Martens. 1 992. SOUTH AMERICA. South of the Amazon River. A Climatological Study. USA.
- GIZ (2012): Clean Cookstoves. The challenge of creating a smoke-free Peru. In Amaray -Energy and development for rural areas, August 2012.
- Guzmán, A. 2011. Producción de energía eléctrica con energías renovables en España. Aspectos técnicos y económicos
- International CopperAssociation, 2010. Energías Renovables para Generación de Electricidad en América Latina: mercado, tecnologías y perspectivas.
- Llorente, M. 2000. Geología del Carbón y del Petróleo.
- Madrid Solar, 2006. Guía de la Energía Solar. Industrias Graficas el Instalador, S. L.
- OSINERGMIN, 2009. Prospectiva del Sector Eléctrico 2009 – 2018
- Palomares, E. 2018. Investigador del Institut Català d'Investigació Química (ICIQ)
- Programa Euro-Solar, 2000. Manual de mantenimiento del sistema solar fotovoltaico. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador.
- Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015, 2006. Dirección General de Planeación Energética. Secretaría de Energía Primera edición.
- Rieder, S. (2016) Creation of a clear-sky Radiation model for Peru under Consideration of local conditions
- Rollenbeck, R. 2016. Application and validation of a Solar radiation model for North Peru.

Sánchez, S. 2003. Energías Renovables Conceptos y Aplicaciones. WWF - Fundación Natura, Quito - Ecuador.

SENAMHI, 2003. Atlas de Energía Solar en el Perú. Lima - Perú

ANEXOS

Sistemas Fotovoltaicos para uso domiciliario:



Fig. 27: Producto: Kit solar Peru 300Wh/dia Casa Campo. Fuente: <https://www.panelsolarperu.com/>

- **Equipos o electrodomésticos que se pueden cargar:** Tv, Luz, Carga Celulares, Mini radio.
- **Precio:** S/. 1,100.00 Incl.IGV

KIT SOLAR DE 1500Wh/Día CASA DE CAMPO

Panel Solar

- 3 Paneles Solares 24v 260w

Batería

- 4 Baterías Solares AGM 100AH

Inversor Solar

- 1 MPP KS INVERTER 3 en 1 inversor 1600W / controlador 50A PWM / cargador 30A

VERANO 3500Wh/Día

- 6u. X 7W = 42w (4h)
- 2u. X 10W = 30w (4h)
- 350W (15min)
- 2u. X 100W = 200W (5h)
- 2u. X 90W = 180W (2h)
- 100W (24h)

INVIERNO 1500Wh/Día

- 6u. X 7W = 42w (4h)
- 2u. X 10W = 30w (4h)
- 350W (15min)
- 100W (3h)
- 90W (1h)
- 100W (24h)

Fig. 28: Kit Solar 1500w Uso Diario.
Fuente: <https://www.panelsolarperu.com/>

Equipos o electrodomésticos que se pueden cargar: Refrigeradora, Luz, Tv, Laptop, Carga celular, Licuadora. Onda Pura

Precio: S/. 6,500.00 Incl.IGV

KIT SOLAR DE 6000Wh/Día PARA CASA

12 x Panel Solar 24V/260W **MPP KS 3 en 1 Inversor/Controlador/Cargador 48v/ 4000w /50A** **230Vac**

8 x Batería Solar GEL 12V/155Ah **Narada®**

Panel Solar

- 12 Paneles Solares 24v 260w

Batería

- 4 Baterías GEL Narada 200Ah

Inversor Solar

- 1 MPP KS INVERTER 3 en 1 inversor 4000W / controlador 50A PWM/ cargador 60A

VERANO 14500Wh/Día

- 10u. X 7W= 70w 4u. X 10W= 20w 350W
- 4h 2h 15min
- 2u. X 120W= 240W 1200W 30min
- 6h 2u. X 90W= 180w
- 500W 100W 2h
- Hasta 3 lavados en frio 750W 1h

INVIERNO 6240Wh/Día

- 10u. X 7W= 70w 4u. X 10W= 20w 350W
- 4h 2h 15min
- 2u. X 120W= 240W 1200W 15min
- 4h 2u. X 90W= 180w
- 500W 100W 1h
- Hasta 1 lavados en frio 750W 30min

Fig. 29: Kit solar 6 000W ECO Uso Diario.

Fuente: <https://www.panelsolarperu.com/>

Equipos o electrodomésticos que se pueden cargar: 1 Frigorífico LG SMART INVERTER A++, 1 x Televisión 32" LED, 9 x Bombilla de 11W, 1 x Microondas (700W), 1 Lavadora 6Kg A+, 1 x Bomba de agua 1/4CV o Ordenador Portátil, 1 x Reproductor DVD.

Precio: S/. 29,440.51 Incl.IGV

El usuario debe introducir los valores en rojo

Tip. Cambio	3,22
Tip. De Sisten	EN RED HIBRIDO
Provincia	LIMA
Radiacion anual (Horas de sol pico)	1967,7
Nº modulos	12 Paneles
Potencia del modulo (W)	250 Watts
Potencia total del sistema solar (KW)	3
Rendimiento del sistema (inversor, etc)	88%
KWh generados por el sistema solar al año	5194,728
Tipo de tarifa	BT5B
Precio del KWh de la compañía (ver en recibo de luz) (S/)	S/. 0,47
Total ahorro anual del recibo de la luz (S/)	S/. 2.428,02
Incremento esperado de la luz anualmente	2,50%
Coste del sistema solar (S/)	S/. 25.276,00

Aclaraciones:

El año mostrado con el paso por cero, es el año en el que se ha recuperado la inversion.

Módulos orientados al norte y a 15º de inclinación (se admiten desviación del 15% sin mermas)

Datos solares extraídos de: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

Fig. 30: Amortización de un sistema fotovoltaico de autoconsumo. Fuente: <https://www.panelsolarperu.com/>

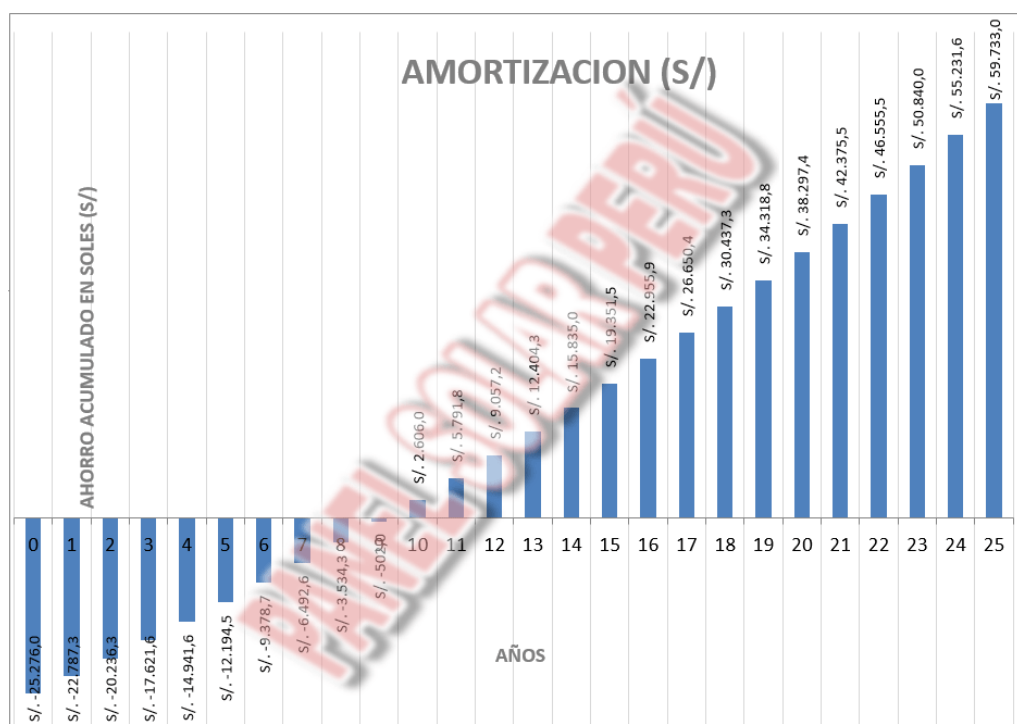


Fig 31: Amortización anual durante 25 años de un sistema fotovoltaico de autoconsumo. Fuente: <https://www.panelsolarperu.com/>



Fig. 32: Kit Solar de 12 v y 55 w vendido por Aliexpress. Precio: 729 Soles



Fig. 33: Kit Solar de 12 v y 1000 w vendido por Aliexpress. Precio: 6689 Soles